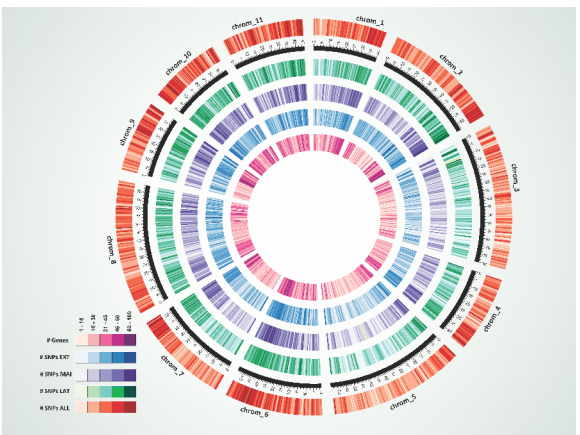


O eucalipto e a Embrapa

Quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento

Edilson Batista de Oliveira
José Elidney Pinto Júnior
Editores Técnicos

Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

O eucalipto e a Embrapa

Quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento

Edilson Batista de Oliveira
José Elidney Pinto Júnior

Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2021

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretária-Executiva
Elisabete Marques Oaida

Membros
Annete Bonnet; *Cristiane Aparecida Fioravante Reis*;
Guilherme Schnell e Schühli; *Krisle da Silva*;
Marcelo Francia Arco-Verde; *Marcia Toffani Simão Soares*
Marilice Cordeiro Garrastazu; *Valderês Aparecida de Sousa*

Supervisão editorial e revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Francisca Rasche

Projeto gráfico e editoração eletrônica
Neide Makiko Furukawa

Capa
Luciane Cristine Jaques

Fotos capa (de cima para baixo)
Antônio Maciel Botelho Machado
Helton Damin da Silva
Vanderley Porfírio-da-Silva
Dario Grattapaglia

1ª edição
Publicação digital – PDF (2021)

Todos os direitos reservados.
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Florestas

Oliveira, Edilson Batista de.

O eucalipto e a Embrapa : quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento / Edilson Batista de Oliveira, José Elidney Pinto Junior, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2021.

PDF (1160 p.) : il. color

Modo de acesso: World Wide Web:
http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/item/14
ISBN 978-65-87380-04-9

1. *Eucalyptus*. 2. Pesquisa florestal. 3. História. 4. Embrapa Florestas. I. Pinto Junior, José Elidney. II. Título. III. Embrapa Florestas.

CDD (21. ed.) 634.97342

Francisca Rasche (CRB-9/1204)

© Embrapa, 2021

Autores

Abílio Rodrigues Pacheco
Engenheiro Florestal, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Alberto Carlos Moris
Engenheiro-agrônomo, agente profissional do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná-Iapar-Emater, Paranavaí, PR

Alessandra da Cunha Moraes-Rangel
Tecnóloga em Sensoriamento Remoto, especialista em Geoprocessamento, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

Alexandre Magno Brighenti
Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Alisson Moura Santos
Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Álvaro Figueredo dos Santos
Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador aposentado da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Ana Claudia da Silveira
Farmacêutica, mestre em Ciências Farmacêuticas, Curitiba, PR

Ananda Virgínia de Aguiar
Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Antônio Francisco Jurado Bellote
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Florestais, pesquisador aposentado da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Arystides Resende Silva
Engenheiro Florestal, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Carlos Eugenio Martins
Engenheiro-agrônomo, doutor em agronomia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Celso Garcia Auer
Engenheiro Florestal, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Claudia Maria Branco de Freitas Maia
Engenheira-agrônoma, doutora em Química Inorgânica, pesquisadora aposentada da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Cláudio César de Almeida Buschinelli
Ecólogo, doutor em Cartografía SIG y Teledetección, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Engenheira Florestal, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Dalva Luiz de Queiroz
Engenheira Florestal, doutora em Ciências Biológicas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Dario Grattapaglia
Engenheiro Florestal, doutor em Genética, pesquisador da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF

David Gobor
Técnico Florestal, técnico do Instituto Ambiental do Paraná, Paranavaí, PR

Edilson Batista de Oliveira
Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Edson Tadeu Iede
Biólogo, doutor em Entomologia, pesquisador aposentado da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Eduardo Delgado Assad
Engenheiro-agrícola, doutor em Hidrologia e Matemática, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Elenice Fritzsons
Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Elisa Serra Negra Vieira
Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Elisiane Castro de Queiroz
Bióloga, doutora em Entomologia, laboratorista da Funcema, Colombo, PR

Emiliano Santarosa
Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Estefano Paludzyszyn Filho
Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Fabiana Villa Alves
Zootecnista, doutora em Ciência Animal e Pastagens, pesquisadora da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Fabiano de Carvalho Balieiro
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Felipe Martini Santos
Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Ambientais e Florestais, Seropédica, RJ

Flávio José Simioni
Engenheiro-agrônomo, doutor em Economia, professor da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC

Gladys Beatriz Martínez
Engenheira-agrícola, doutora em Ciências Agrárias, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Gracie Abad Maximiano
Geógrafa, doutora em Ecologia da Paisagem, Geógrafa da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Curitiba, PR

Guilherme de Castro Andrade
Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Guilherme Montandon Chaer
Engenheiro-agrônomo, doutor em Crop And Soil Science, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Guilherme Schnell e Schühli
Biólogo, doutor em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Hélio Tonini
Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS

Helton Damin da Silva (in memoriam)
Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador aposentado da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Henrique Nery Cipriani
Engenheiro Florestal, meste em Agronomia, pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO

Itamar Antonio Bognola
Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Ivar Wendling
Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Florestais, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

João Antonio Pereira Fowler
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

João Bosco Vasconcellos Gomes
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Joel Penteado Júnior
Economista, mestre em Agronomia, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Jorge Ribaski
Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

José Alves Tavares
Engenheiro-agrônomo, pesquisador do Instituto Agronômico de Pernambuco, Araripina, PE

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

José Elidney Pinto Júnior
Engenheiro Florestal, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira
Engenheiro Florestal, doutor em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

José Otávio Brito
Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Florestais, professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP

José Ricardo Macedo Pezzopane
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

Juliana Degenhardt
Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências da Horticultura, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Junior Ruiz Garcia
Bacharel em Ciências Econômicas, doutor em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Ladislau Araújo Skorupa
Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Leandro Marcolino Vieira
Graduado em Ciências Agrícolas, mestre em Agronomia, Curitiba, PR

Leonardo Ferreira Dutra
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Leonardo Henrique Ferreira Calsavara
Adminstrador, mestre em Bioengenharia, extensionista da Emater/MG, Coronel Xavier Chaves, MG

Leonardo Rodrigues Barbosa
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Letícia Penno de Sousa
Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Lucília Maria Parron Vargas
Bióloga, doutora em Ecologia de Ecossistemas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Luís Claudio Maranhão Froufe
Engenheiro Florestal, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Luis Fernando Wolff
Engenheiro-agrônomo, doutor em Recursos Naturais e Gestão Sustentável, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Luiz Fernando Maciel França
Graduado em Sistemas para Internet, analista da SIG Soluções em Informática Ltda, Sete Lagoas, MG

Luiz Marcos Feitosa Santos
Engenheiro-agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, agente profissional do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná-Iapar-Emater, Curitiba, PR

Marcela Guiotoku
Química, doutora em Ciência e Engenharia de Materiais, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marcelo Dias Müller
Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Marcelo Lazzarotto
Químico, doutor em Química, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Márcia Toffani Simão Soares
Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marcos Antônio Drumond
Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Florestais, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

Marco Antônio Karam Lucas
Engenheiro-agrônomo, mestre em Fisiologia Vegetal, analista da Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS

Marcos Deon Vilela de Resende
Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética Quantitativa, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marcos Silveira Wrege
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Mariane Aparecida Nickele
Bióloga, doutora em Ciências Biológicas, Curitiba, PR

Marilice Cordeiro Garrastazú
Engenheira Florestal, mestre em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Mário Vedovato Dias
Acadêmico de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Maurel Behling
Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Miguel Marques Gontijo Neto
Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Mônica Caramez Triches Damaso
Engenheira Química, doutora em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, pesquisadora da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

Monica Matoso Campanha
Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Mônica Moreno Gabira
Engenheira Florestal, mestre em Ciência Florestal, Curitiba, PR.

Nilton Curi
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

Osmir José Lavoranti
Estatístico, doutor em Agronomia, analista da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Paulo Eduardo Telles dos Santos
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori

Engenheiro Industrial Madeireiro, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Raphael David dos Santos
Engenheiro-agrônomo, pesquisador aposentado da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Roberto Alonso Silveira
Engenheiro Florestal, Produtor Rural e Consultor Autônomo, Campo Grande, MS

Roberto Giolo de Almeida
Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Rodolfo César Forgiarini Perske
Engenheiro Florestal, especialista em Gestão Ambiental, Emater/RS-Ascar, Bagé, RS

Rodrigo Silva Alves
Engenheiro Florestal, doutor em Genética e Melhoramento, Viçosa, MG

Shizuo Maeda
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Sônia Couri
Bióloga, doutora em Tecnologia de Processos Bioquímicos, pesquisadora aposentada da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

Susete do Rocio Chiarello Penteado
Bióloga, doutora em Ciências Biológicas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Tadário Kamel de Oliveira
Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

Thays Schneider
Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, bolsista CIBiogás/Projeto Bioeste Florestas, Foz do Iguaçu, PR

Thomaz Correa e Castro da Costa

Engenheiro Florestal, doutor em Sensoriamento Remoto, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Valdemir Antônio de Laura
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

Valderês Aparecida de Sousa
Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Vanderley Porfírio-da-Silva
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Vanessa Silva Pugliero
Engenheira Ambiental, especialista em Geoprocessamento Ambiental, bolsista do CNPq, INCT Mudanças Climáticas Fase II, Campinas, SP

Vinicius Silva Tina
Técnico Agrícola, agente de execução do Instituto Emater, São Pedro do Paraná, PR

Visêldo Ribeiro de Oliveira
Engenheiro Florestal, doutor em Recursos Genéticos Florestais, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

Wadson Sebastião Duarte da Rocha
Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Washington Luiz Esteves Magalhães
Engenheiro Químico, doutor em Ciências e Engenharia de Materiais, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Wilson Reis Filho
Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Biológicas, pesquisador da Epagri à disposição da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Agradecimentos

Aos 105 autores participantes, às empresas e instituições parceiras, e às vinte Unidades da Embrapa realizando pesquisas com eucaliptos em todas os biomas brasileiros, que não mediram esforços ao desenvolvimento e apoio incondicional às pesquisas ao longo dessas últimas quatro décadas.

Agradecimentos especiais ao Dr. Alysson Paolinelli e ao Dr. Antônio Paulo Mendes Galvão, personalidades de elevada importância desde a criação da Embrapa Florestas, que gentilmente participam com o Prefácio e Apresentação do livro, respectivamente. Agradecimentos também a todos os profissionais que participaram da revisão, normatização, composição gráfica e editoração.

Apresentação

Esta obra destina-se a público amplo e diversificado de profissionais que atuam na área florestal, agrícola e pecuária. Será útil, também, para gestores do setor público e privado. Ela demonstra que vale a pena investir na pesquisa cientifica. O texto evidencia o enorme potencial de retorno de investimentos financeiros em pesquisa que permite gerar tecnologias para o uso sustentável da terra, como aquelas aqui apresentadas.

Dentre as evidências da importância da pesquisa florestal para o Brasil, pode-se destacar o fato de que as produtividades de plantios comerciais de eucaliptos no Brasil são as maiores do mundo, superando 40 m³/ha ano. Isso proporciona vantagens comparativas e competitivas ao País, nos mercados mundiais de produtos da madeira processada. Esses resultados não são obra do acaso, como mostra esta publicação, mas o produto de esforço conjunto de atores importantes do Setor Florestal Brasileiro, no qual a Embrapa tem importante papel.

Este livro relata 40 anos de esforço da Embrapa no processo de construção e oferta de conhecimento sobre o uso de espécies de eucaliptos e corímbias em plantios para fins comerciais e ambientais, assim como seus inegáveis benefícios sociais. Cada capítulo apresenta uma síntese das atividades/ações desenvolvidas com os resultados e inovações produzidas pela pesquisa da Embrapa e seus parceiros. Detalhes sobre assuntos/tecnologias poderão ser vistos por meio de consultas às referências bibliográficas apresentadas no final dos textos.

São capítulos que relatam desde a estruturação da Embrapa para a pesquisa florestal e apresentam ao leitor notável número de importantes temas como produção de sementes e mudas, reintrodução do eucalipto no Brasil, softwares para manejo de precisão de eucaliptos em monocultivo, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e serviços ecossistêmicos do eucalipto. Mostra, também, os avanços nas aplicações operacionais da análise genômica relacionados com eucaliptos. Além disso, esta obra trata de assunto que, atualmente, agita a mídia e as redes sociais: mudanças climáticas, emissões de gases de efeito estufa e as suas interações com cultura do eucalipto.

É oportuno apresentar, de forma simplificada, a base institucional e o processo de produção de conhecimento e tecnologias que permitiu alcançar resultados tão expressivos, possibilitando à Embrapa Florestas elaborar e publicar este

livro. Ele iniciou-se com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 1973. A estruturação da base institucional da pesquisa florestal, em nível nacional, começou com a instituição do Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF), em 1977. Era um empreendimento conjunto da Embrapa e o então Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) (atual Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-Ibama). O PNPF atuava com orientações de Comitê formado por dois membros de cada uma dessas instituições, mais um coordenador executivo da Embrapa. Este coordenador era responsável direto pela implantação, execução e desempenho do Programa no Brasil.

Sobre esse alicerce se assentou a Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro Sul (URPFCS), transformada em Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPF), em 1984. As atividades do Programa eram, também, desenvolvidas com profissionais contratados para atuar a partir dos Centros da Embrapa localizados em Belém, Petrolina, Planaltina e com entidades parceiras que atuavam na Área Florestal. O capitulo 1 descreve, com detalhes, a organização e o funcionamento dessa estrutura.

Um dos maiores desafios da Embrapa e do PNPF, em seus princípios, era contratar recursos humanos qualificados. Como estes eram escassos no mercado de trabalho daquela época, a Embrapa, como parte da estratégia estabelecida na sua criação, planejou e executou um extraordinário programa de treinamento de recursos humanos no Brasil e exterior. Dessa forma, foi possível formar equipe multidisciplinar de profissionais florestais altamente qualificados.

Outro desafio foi criar estrutura física adequada para a Empresa cumprir sua Missão. Para vencer essas dificuldades houve significativo suporte do Governo Brasileiro apoiado pelo Banco Mundial (BIRD) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

É oportuno narrar os Sistemas de Planejamento adotados pela Embrapa e, portanto, pela Embrapa Florestas que tornaram possível a execução da pesquisa, possibilitando os notáveis avanços tecnológicos relatados e a publicação deste livro.

O PNPF adotou, inicialmente, sistema de planejamento que envolvia extensa consulta das demandas do Setor Florestal Brasileiro, utilizando amplamente as facilidades físicas e humanas que a Embrapa e o ex-IBDF possuíam. Incluíam-se nesse planejamento consultas periódicas às empresas e indústrias de base Florestal, a pequenos e grandes produtores rurais, assim como a usuários dos produtos da madeira e dos benefícios indiretos da floresta. Eram as reuniões anuais de levantamento de demandas e avaliação de resultados. Com as diretrizes iniciais do Programa, associadas às demandas levantadas, definiam-se os objetivos e estratégias para as novas iniciativas, as ações a serem executadas e os resultados que deveriam ser alcançados.

Posteriormente, as ações e atividades da Pesquisa Florestal seguiram os Sistemas de Planejamento adotados pela Embrapa que tinham como referência e guia de gestão, Planos Diretores formulados segundo princípios e técnicas clássicas de planejamento

estratégico de longo prazo. Dessa forma, eram identificados e definidos os grandes rumos do processo de atender demandas e gerar tecnologias. Assim, tratava-se de identificar a situação existente e estabelecer a desejada, examinar os problemas e suas causas para definir as mudanças desejadas, as estratégias e diretrizes. Na sequência estabeleciam-se objetivos, os resultados visados, definindo-se as ações a serem prioritariamente executadas e os prazos respectivos.

Os Planos Operacionais eram elaborados por meio de respostas às clássicas perguntas: o que fazer, quem faz, quando, onde, por que, como e quanto custa.

A título de exemplo, dentre as muitas e importantes ações da Embrapa tratadas nesta obra, é oportuno e conveniente fazer comentários sobre a reintrodução de material genético de eucaliptos e corimbias para fins de melhoramento. Entre 1984 e 1985, ela foi executada por meio de um projeto cooperativo de coleta de sementes e melhoramento genético, com 22 empresas privadas do setor florestal e 06 instituições governamentais. Testes de procedência-progênies e populações básicas foram instalados, em terras dos participantes, em 59 diferentes locais do Brasil, com material genético coletado na Austrália diretamente pelo PNPF, durante um ano.

Posteriormente, no período de 1985 a 1992, mais material genético foi adicionado ao projeto e outras parcerias foram feitas. Ampliou-se, assim, a grande rede experimental de melhoramento e de conservação genética de eucaliptos e corímbias, que se faz presente em 64 municípios, de nove Estados brasileiros. Este projeto e sua continuidade são amplamente relatados no capitulo 1. Ressalte-se que esse material genético tem sido amplamente utilizado, até os dias atuais, por empresas e entidades que atuam na área florestal.

Outro exemplo de inovação tecnológica promovida pela pesquisa da Embrapa no Brasil é a integração lavoura-pecuária-floresta dentro de uma mesma área, visando o melhor uso da terra com a inclusão de árvores. Essa técnica era denominada Agrossilvicultura, quando o PNPF a introduziu na sua programação, em 1977. Sistema Agrossilvipastoril era o nome adotado nas diretrizes, planejamento e projetos da pesquisa florestal da Embrapa, na época.

Nesses primórdios, pouco ou nada existia no Brasil que pudesse ser enquadrado nos conceitos técnicos atuais de Agrossilvicultura ou Sistemas de ILPF. Em algumas regiões brasileiras, principalmente na Amazônia, haviam os chamados consórcios, isto é, a associação diversa de espécies que incluíam, ou não, árvores. Eram idealizados e feitos pelos próprios produtores rurais baseados apenas no bom senso. Essas associações eram praticadas, também, em outras partes do mundo. Mas, igualmente, sem adequada base técnica.

Nesse cenário, a Embrapa participou de um esforço internacional da década de 1970, iniciado com o estudo realizado pelo International Development Research Centre of Canada (IDRC) para identificar prioridades de pesquisa daquela época até o fim do século 20. O relatório final recomendou pesquisa abrangente em

Agrossilvicultura, visando o melhor uso da terra nos trópicos com a integração de árvore, assim como a criação de um Conselho para tratar do assunto, que se transformou no International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Participante ativa dos cenários mundiais de pesquisa e desenvolvimento e atenta aos problemas de uso da terra no Brasil, a Embrapa investiu significativamente para estabelecer as bases técnicas da Agrossilvicultura no Brasil, por meio do PNPF.

Os excelentes frutos dessas ações, e daquelas posteriormente desenvolvidas pela Embrapa Florestas, são comprovados pela pesquisa realizada em 2015/2016 pelo Keffmann Group, a pedido da Rede de Fomento ILPF, que estimou que, dos 11,5 milhões de hectares da área de adoção desses sistemas de uso da terra, 1,9 milhão utilizam árvores no sistema. Detalhes dos produtos e benefícios resultantes desse notável esforço da Embrapa podem ser apreciados nos capítulos que tratam desse assunto.

Desfrute desta publicação. São capítulos que abordam 40 anos de pesquisa florestal da Embrapa e parceiros. Vai-se da semente à madeira, assim como aos serviços ambientais que árvores de eucaliptos e corimbías podem proporcionar. Trata-se até de assunto que, atualmente, agita a mídia e as redes sociais: mudanças do clima e emissões de gases de efeito estufa, no contexto da cultura do eucalipto. Há muitas ilustrações gráficas e estatísticas nesse capitulo. São assuntos variados e de grande atualidade que o ajudarão em suas atividades profissionais

Saliente-se que nenhum capitulo é mais importante que os demais. Todos têm seu papel na edificação da catedral do conhecimento e inovação florestal. Portanto, apenas para aguçar a curiosidade do leitor, mencionam-se outros exemplos do que poderão ser encontrados nesta publicação:

- Softwares para planejamento e gestão de empreendimentos florestais.
- Estratégias de melhoramento e métodos de seleção.
- Indicação de novas espécies, procedências e clones.
- Genômica aplicada à genética e melhoramento de *Eucalyptus* na Embrapa:
- Sistema para estimativa de peças de madeira roliça e serrada.
- Integração de árvores nas atividades agrícolas e pecuária, para uso mais sustentável da terra.
- Eucalipto para restauração florestal com renda para propriedades rurais familiares.
- Eucaliptos e abelhas.
- Serviços ecossistêmicos e eucalipto
- Viabilização econômica da cultura do eucalipto.
- Transferência de Tecnologia para o Sistema de Produção de Eucalipto.

Antes de concluir a apresentação é oportuno ressaltar a maior invenção da humanidade que possibilita a chegada desta obra até vocês. Trata-se da criação da

Escrita. Antes dela, a troca de informações e a transmissão do conhecimento eram limitadas no tempo e espaço. Naquelas condições esta publicação não estaria agora em suas mãos.

Estimado leitor, desfrute da maravilhosa invenção da palavra escrita. Leia esta obra. Será uma fascinante e proveitosa viagem no universo de tecnologias florestais relacionadas a eucaliptos e corimbias. Ela é o fruto do entusiasmo e persistência de profissionais altamente capacitados, estimulados por incessantes demandas do importante e inquieto Setor Florestal brasileiro.

Para finalizar, não se poderia deixar de reconhecer o árduo trabalho dos organizadores deste livro, os pesquisadores da Embrapa Florestas Edilson Batista de Oliveira e José Elidney Pinto Júnior. Eles selecionaram os temas, formularam as referências gerais para elaboração dos textos, convidaram autores, estabeleceram prazos, cobraram a entrega, revisaram os capítulos, visando harmonizá-los com as referências, assim como solicitaram e negociaram ajustes, dentre outras atividades.

Com certeza os resultados compensam os esforços dos organizadores, o empenho dos autores, assim como a inestimável contribuição e o trabalho zeloso de todo o pessoal de apoio técnico e administrativo da Empresa. Congratulações à Embrapa! Parabéns à Embrapa Florestas e parceiros de todo o Brasil e exterior!

Antônio Paulo Mendes Galvão
ex-Chefe Geral da Embrapa Florestas

Foto: Arquivo da Embrapa Florestas

Cerimônia de fundação da Embrapa Florestas, 1978.
Ministro Alysson Paolinelli (centro), Antônio Paulo Mendes Galvão (esquerda) e
Luciano Lisbão Junior (1º Chefe da Unidade).

Prefácio

Um gigantesco defict de valor percebido pela sociedade. Não seria exagero dizer que a expertise científica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa construída para reintrodução do eucalipto no Brasil, a partir dos anos 1970 e ao longo dos últimos quarenta anos, não foi ainda devidamente valorada e compreendida em toda sua extensão, pela sociedade brasileira. Os passos pioneiros foram dados em tempo quando ainda não se falava de "Aquecimento Global", "Bioeconomia", nem tampouco a respeito de "Economia Circular". O debate sobre sustentabilidade e o uso racional de recursos naturais renováveis era ainda incipiente. As críticas ao uso do eucalipto: era uma planta exótica; seu cultivo não aceitava a presença de passarinhos; "secava" a terra. Nesse ambiente, em 1978, foi criado o Centro Nacional de Pesquisas Florestais (CNPF) – hoje, a Embrapa Florestas, antecipando a história.

Hoje, segundo o levantamento da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, do IBGE, o Brasil tem 9,85 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 75,2% de eucalipto, destinados à indústria de papel, ao carvão vegetal, às serrarias, aos produtos de madeira sólida e processada. E o País ocupa o quarto lugar no ranking mundial dos produtores de celulose de fibra curta.

Na perspectiva dos anos de 1970, montar um polo de produção de celulose no País a partir do eucalipto e do pinus era uma experiência visionária. O foco quase exclusivo era a produção de matéria-prima para a então recente indústria nacional de papel. Visto de hoje, o parque instalado no Brasil tornou-se a antessala de uma enorme janela de oportunidades que se abre para a nossa Bioeconomia, principalmente quando tem por objetivo a utilização de áreas degradadas. É o exemplo do Mato Grosso do Sul, que ilumina o relevante benefício lateral da mitigação de gases de efeito estufa. E, no MS, para cada hectare plantado há praticamente um hectare de mata nativa preservado, ou em recuperação.

Nos primórdios dessa feliz empreitada da Agricultura Tropical Sustentável ainda não existia uma metodologia aplicada de forma científica, acompanhando e avaliando a evolução genética e desenvolvimento do genoma - inclusive nos cruzamentos, que tanto fizeram crescer e ampliar as esperanças no aprimoramento da produção da madeira, como hoje existe.

O gênero *Eucalyptus* tem origem na Austrália e na Indonésia. Segundo os arquivos disponíveis, há controvérsias sobre a data exata da introdução do eucalipto no Brasil. Os primeiros exemplares teriam sido plantados nas áreas pertencentes ao Jardim Botânico e ao Museu Nacional do Rio de Janeiro, nos idos de 1825 e 1868; no município de Amparo-SP entre 1861 e 1863; e no Rio Grande do Sul, em 1868. Os primeiros plantios ocorreriam de fato em 1868, no Rio Grande do Sul, por iniciativa do líder político Joaquim Francisco de Assis Brasil, um dos primeiros brasileiros a demonstrar interesse pelo gênero.

Agora, já podemos comemorar o resultado prático e tangível desta reintrodução apoiada em ciência e tecnologia, que resume o conjunto dos esforços realizados pela Embrapa. O eucalipto e o pínus plantados hoje evoluíram em produtividade 40% a mais que as espécies/variedades trazidas ao Brasil, na sua origem. E, até 2030, o Brasil pretende plantar mais 12 milhões de hectares.

O uso do eucalipto é quase generalizado em todas as nossas regiões tropicais e subtropicais. A sua capacidade de adaptação às diversas situações mostra, sem dúvida, sua importância para a sustentabilidade da cadeia produtiva no Brasil de hoje. Isto vale para a produção de madeira para fins nobres, ou carvão e energia; para reposições florestais em aplicações diversas; no controle ambiental, no caso dos sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta. Observem a relevância dessa técnica no caso da suinocultura que registra grandes avanços em termos de produtividade.

É exuberante a capacidade que o eucalipto tem de regular as condições ambientais e visuais dos sistemas integrados.

Seus diversos produtos, realizados a partir de madeira certificada, atendem cada vez mais a demanda cobrada por gerações de consumidores que estão transformando a preocupação com as mudanças climáticas e o futuro do planeta em novas tendências de consumo. Por exemplo, depois de se consolidar na Europa. começa a ser explorado no Brasil o nicho das casas urbanas construídas com madeira oriunda de florestas plantadas.

Esta nova perspectiva de mercado com base na sustentabilidade sugere, em um futuro próximo, a perda de espaço comercial da madeira nativa. No bojo deste processo virá naturalmente um maior rigor na rastreabilidade, no monitoramento e na certificação de origem. É neste contexto que a floresta plantada é um grande ativo do Brasil no cenário mundial e o reflorestamento chancelado como importante instrumento no combate à emissão de gases de efeito estufa.

Outra oportunidade do mercado da madeira certificada e em crescimento é o seu uso em projetos de geração de energia a partir da biomassa. A produção de pellets permite a geração de energia renovável e bem menos poluente do que aquelas com origem em combustíveis fósseis. Esta modalidade de uso está em ascensão no mercado internacional, principalmente o europeu.

Este livro indica novos sistemas de plantio, manejo e tratos culturais das florestas plantadas com eucalipto. E discute a economicidade de sua cultura oferecida pelas técnicas mais evoluídas. Os produtores e empresários que nelas se interessem terão escolhido o melhor caminho para atingir os seus objetivos – com menos riscos e mais eficiência.

Os investimentos florestais seguem uma lógica diferenciada dos ativos financeiros tradicionais. A alternativa de diversificação em sistemas integrados de plantio e pastagem combinam segurança e retorno no longo prazo.

Temos de levar em conta, hoje, as excelentes condições para o Brasil se transformar, como já vem sendo, em grande exportador de madeiras com origem na floresta plantada.

Temos à nossa disposição um verdadeiro Continente, no qual prevalece a diversidade de clima, solos de qualidade e grande disponibilidade de água e de energia solar. Esses fatores nos garantem de largada vantagens competitivas sobre quaisquer concorrentes, pois, além das condições naturais, temos agora a Ciência e a Tecnologia necessárias para crescer vigorosamente neste mercado.

Quando criamos na década de 1970, o CNPF-Embrapa e pudemos dar a ele as maiores condições de preparação de seu corpo técnico, tínhamos a certeza de que os resultados viriam. A opção pela Ciência em primeiro lugar será sempre a garantia de avançarmos no processo civilizatório.

Alysson Paolinelli
Presidente da Associação Brasileira dos Produtores de Milho
e Diretor da Verde AgriTech

Sumário

Introdução 31

Capítulo 1

A introdução do eucalipto no Brasil pela Embrapa: bases institucionais e sua estruturação para a pesquisa com eucaliptos e corímbias

José Elidney Pinto Júnior e Roberto Alonso Silveira 33

Capítulo 2

Melhoramento genético e lançamento de cultivares

Paulo Eduardo Telles dos Santos, Estefano Paludzyszyn Filho, Jorge Ribaski, Marcos Antônio Drumond e Visêldo Ribeiro de Oliveira..... 113

Capítulo 3

Genética: estratégias de melhoramento e métodos de seleção

Marcos Deon Vilela de Resende e Rodrigo Silva Alves 171

Capítulo 4

Genômica aplicada à genética e melhoramento de *Eucalyptus* na Embrapa: 25 anos de avanços e as perspectivas para o futuro

Dario Grattapaglia..... 203

Capítulo 5

Manuseio de pólen e produção de híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*

Valderês Aparecida de Sousa, Ananda Virgínia de Aguiar e José Elidney Pinto Júnior..... 269

Capítulo 6

Banco de sementes e a conservação de germoplasma de eucaliptos e corimbias pela Embrapa Florestas

Elisa Serra Negra Vieira 313

Capítulo 7

Regiões mais favoráveis ao crescimento e produção de madeira de eucalipto na região Sul do Brasil

Marcos Silveira Wrege, Marilice Cordeiro Garrastazu, Márcia Toffani Simão Soares e Elenice Fritzsons 325

Capítulo 8

Mudanças do clima e a cultura do eucalipto

Eduardo Delgado Assad, José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro e Vanessa Silva Pugliero 357

Capítulo 9

Contribuições das pesquisas com eucaliptos para a expansão de fronteiras das florestas plantadas brasileiras

Cristiane Aparecida Fioravante Reis, Alisson Moura Santos, Abílio Rodrigues Pacheco e Alessandra da Cunha Moraes-Rangel 395

Capítulo 10

A geografia de solos e suas interpretações para o cultivo do eucalipto no Brasil

João Bosco Vasconcellos Gomes, Itamar Antonio Bognola, Nilton Curi, Thays Schneider e Raphael David dos Santos..... 495

Capítulo 11

Eucalipto: desafios para a pesquisa em nutrição, na ótica da sustentabilidade florestal

Márcia Toffani Simão Soares, Shizuo Maeda, Marcos Silveira Wrege, Monica Moreno Gabira, Antônio Francisco Jurado Bellote, Guilherme de Castro Andrade, Luís Claudio Maranhão Froufe, Fabiano de Carvalho Balieiro, Guilherme Montandon Chaer e Felipe Martini dos Santos..... 515

Capítulo 12

Aplicação de resíduos agropecuários, urbanos e industriais em plantios de eucalipto

Shizuo Maeda, Márcia Toffani Simão Soares e Mario Vedovato Dias 555

Capítulo 13

Biochar e o eucalipto

Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Marcela Guiotoku, Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto e Lucília Maria Parron Vargas..... 589

Capítulo 14

Serviços ecossistêmicos e eucalipto

Lucília Maria Parron Vargas, Junior Ruiz Garcia, Monica Matoso Campanha, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Dalva Luiz de Queiroz, Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto, Elenice Fritzsons e Marcos Silveira Wrege 611

Capítulo 15

Eucalipto para restauração florestal com renda para propriedades rurais familiares

Edilson Batista de Oliveira, Letícia Penno de Sousa, Luiz Marcos Feitosa Santos, David Gobor, Alberto Carlos Moris, Gracie Abad Maximiano e Vinicius Silva Tina ... 667

Capítulo 16

Eucaliptos e abelhas

Luis Fernando Wolff e Guilherme Schnell e Schuhli 685

Capítulo 17

A Embrapa no campo da nanotecnologia aplicada ao eucalipto

Washington Luiz Esteves Magalhães e Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori 701

Capítulo 18

Óleos essenciais de espécies de eucaliptos

Ana Claudia da Silveira e Marcelo Lazzarotto 723

Capítulo 19

Pragas de eucaliptos

Leonardo Rodrigues Barbosa, Dalva Luiz de Queiroz, Mariane Aparecida Nickele, Elisiane Castro de Queiroz, Wilson Reis Filho, Edson Tadeu Iede e Susete do Rocio Chiarello Penteado 751

Capítulo 20

Pesquisas com doenças em eucalipto na Região sul do Brasil

Celso Garcia Auer e Álvaro Figueredo dos Santos 781

Capítulo 21

Produção, tecnologia e uso das sementes de eucalipto no Brasil

João Antonio Pereira Fowler 795

Capítulo 22

Produção de mudas de eucalipto

Ivar Wendling, Leonardo Ferreira Dutra, Mônica Moreno Gabira, Leandro Marcolino Vieira e Juliana Degenhardt 823

Capítulo 23

SisEucalipto e SisILPF_Eucalipto: softwares para manejo de precisão de espécies de eucalipto em monocultivo e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

Edilson Batista de Oliveira 859

Capítulo 24

CalcMadeira: Sistema para estimativa de peças de madeira roliça e serrada

Thomaz Correa e Castro da Costa, Monica Matoso Campanha e Luiz Fernando Maciel França..... 885

Capítulo 25

A viabilização econômica da cultura do eucalipto

José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira, Flávio José Simioni e Cláudio César de Almeida Buschinelli..... 907

Capítulo 26

Florestas energéticas

Osmir José Lavoranti, Antônio Francisco Jurado Bellote, Cláudio César de Almeida Buschinelli, Flávio José Simioni, Guilherme de Castro Andrade, Helton Damin da Silva (in memoriam), José Otávio Brito, Jorge Ribaski, Mônica Caramez Triches Damaso, Paulo Eduardo Telles dos Santos e Sônia Couri 941

Capítulo 27

Bioeste Florestas: Parceria voltada ao desenvolvimento de tecnologias para os segmentos de florestas energéticas e de integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF), no oeste do Paraná

João Bosco Vasconcellos Gomes 981

Capítulo 28

Transferência de tecnologia para o sistema de produção de eucalipto

Emiliano Santarosa, Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart, Joel Penteado Júnior e Vanderley Porfírio-da-Silva 1005

Capítulo 29

O eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Amazônia

Maurel Behling, Gladys Beatriz Martínez, Arystides Resende Silva, Tadário Kamel de Oliveira e Henrique Nery Cipriani 1041

Capítulo 30

Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) como alternativa para diversificação de renda no Semiárido brasileiro

Marcos Antônio Drumond, Jorge Ribaski, Visêldo Ribeiro de Oliveira e José Alves Tavares 1055

Capítulo 31

O eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Cerrado

Valdemir Antônio de Laura, Miguel Marques Gontijo Neto, Roberto Giolo de Almeida e Fabiana Villa Alves 1065

Capítulo 32

O Eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Mata Atlântica

Marcelo Dias Müller, Carlos Eugenio Martins, Alexandre Magno Brighenti, Wadson Sebastião Duarte da Rocha, Leonardo Henrique Ferreira Calsavara, José Ricardo Macedo Pezzopane e Vanderley Porfírio-da-Silva 1087

Capítulo 33

O eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Bioma Pampa

Helio Tonini, Jorge Ribaski, Rodolfo César Forgiarini Perske e Marco Antônio Karam Lucas 1105

Capítulo 34

Potencialidades e desafios para o melhoramento genético de eucaliptos aos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

Cristiane Aparecida Fioravante Reis, Alisson Moura Santos e Abílio Rodrigues Pacheco 1133

Capítulo 35

O eucalipto e os desafios para a transferência de tecnologias em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

Ladislau Araújo Skorupa, Maurel Behling e Vanderley Porfirio-da-Silva 1147

Introdução

A abrangência geográfica das pesquisas e das plantações de eucaliptos indica a sua transversalidade e importância ao agronegócio, em todas as regiões brasileiras. Presente tanto nas propriedades rurais familiares quanto nas grandes empresas, quer nos monocultivos ou nos sistemas integrados, o gênero se tornou o mais plantado no País, gerando milhões de empregos (diretos, indiretos e resultantes do efeito-renda) e receita de bilhões de dólares. Diversos serviços ambientais são prestados, com destaque para a captura de gases de efeito estufa e para os vários serviços decorrentes dos sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas, tal como o conforto térmico para o gado, que têm mostrado aumento da rentabilidade econômica pela elevação da produtividade animal e pela produção de madeira. Fundamental é a sua importância na redução da pressão sobre florestas naturais, evitando desmatamentos para obtenção de matéria-prima, em especial madeira para múltiplas finalidades.

O livro reúne informações resultantes da pesquisa que se iniciou com o esforço conjunto multi-institucional e que possibilitou que a Embrapa Florestas, no início da década de 1980, buscasse sementes de eucaliptos e corímbias dos locais de origem na Austrália e Indonésia, e renovasse, com uma rede inicial de aproximadamente 240 experimentos distribuídos em diversos estados do País, a base genética utilizada hoje em muitas plantações, até as tecnologias que contribuíram para a criação de um sistema de produção altamente inovador, que tornou o Brasil referência mundial em produtividade e silvicultura do eucalipto.

A alta produtividade da eucaliptocultura brasileira exigiu da própria pesquisa científica, reavaliações sobre as questões ambientais, uma demanda da sociedade, mas muito relacionada aos impactos que poderiam comprometer a sustentabilidade das plantações florestais. A ciência tem mostrado que tais impactos são pequenos em relação aos de outras culturas agrícolas. E, quando ocorrem, podem ser minimizados por meio de práticas silviculturais adequadas. Assim, resultante das pesquisas desenvolvidas pela Embrapa e seus parceiros, foram produzidas literaturas tais como “Plantações Florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental”, livro publicado em 2017 que, com base em dados científicos, vem contribuindo para desmistificar muitas questões, especialmente

aquelas envolvendo o papel da água e da biodiversidade das florestas, mostrando vários serviços ambientais e a integração altamente benéfica para a agropecuária, itens detalhados na presente publicação.

Os capítulos tratam de assuntos sobre genética, mudanças climáticas, uso do solo, nutrição, serviços ambientais, restauração florestal, geração de renda, abelhas, nanotecnologia, pragas e doenças, sementes, mudas, softwares, geração de energia, integração lavoura-pecuária-florestas, entre outros. A capa apresenta quatro imagens icônicas na história desta pesquisa. A primeira foto mostra como está, hoje, o primeiro experimento da Embrapa envolvendo o melhoramento genético de eucalipto para clima frio. Na sequência, a imagem de uma floresta com alto nível tecnológico, que incorpora resultados de pesquisas que possibilitam o sucesso da eucaliptocultura no País. Logo abaixo, encontra-se a imagem de um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Florestas (ILPF) voltado à adequação ambiental da pecuária, com o objetivo de promover o conforto térmico animal no pasto e a produção de madeira na área de pastagem. A quarta imagem ilustra o desenvolvimento do primeiro "chip" de análise de DNA de alto desempenho para espécies de eucalipto desenvolvido pela Embrapa, representando uma contribuição expressiva para o Brasil e toda a comunidade internacional, ao colocar o eucalipto em um patamar equivalente ao das grandes culturas agrícolas mundiais quanto à possibilidade de aplicação da genômica no melhoramento.

Os Editores

1

A introdução do eucalipto no Brasil pela Embrapa: bases institucionais e sua estruturação para a pesquisa com eucaliptos e corímbias

José Elidney Pinto Júnior
Roberto Alonso Silveira

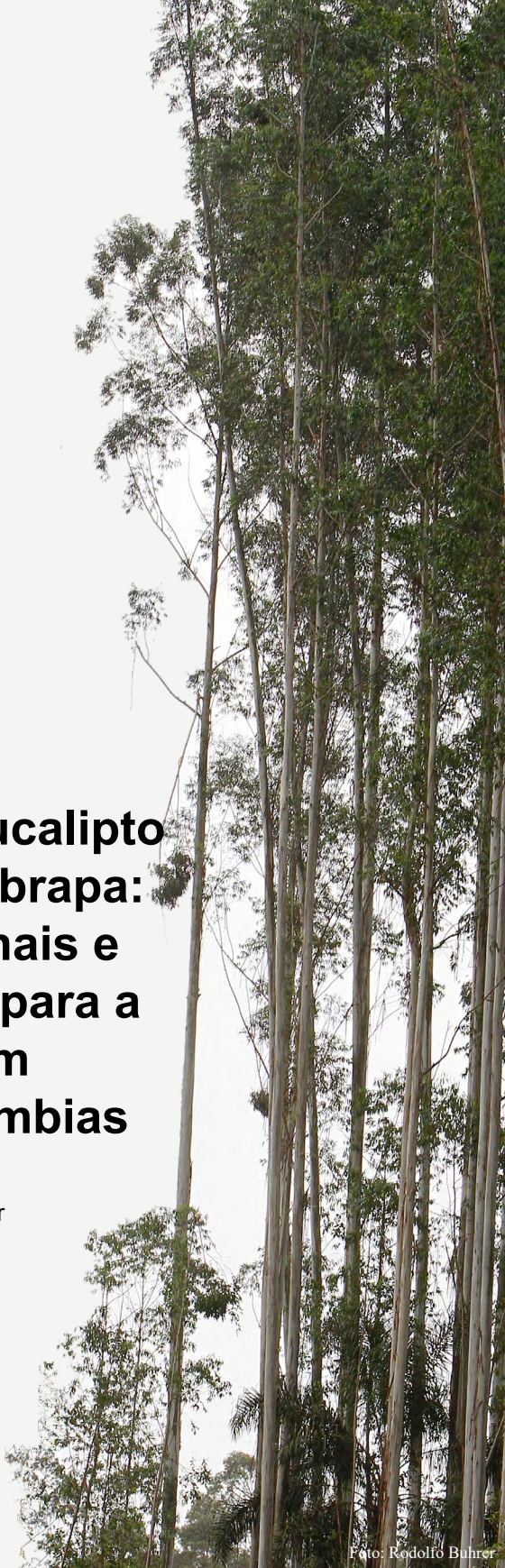


Foto: Rodolfo Buhrer

Antecedentes

Há controvérsias sobre as datas e locais exatos onde ocorreram as primeiras introduções de *Eucalyptus* L'Hér. (Myrtaceae) no Brasil. É certo, porém, que essas introduções foram feitas inicialmente com finalidades de paisagismo, barreiras quebra-ventos e de obtenção de óleos essenciais. Entretanto, há relatos que os exemplares mais antigos seriam aqueles de *E. robusta* Smith e *E. tereticornis* Smith plantados por D. Pedro I, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, em 1825 (Jacobs, 1979).

As primeiras introduções de *Eucalyptus* e *Corymbia* Hill & Johnson (Myrtaceae), com base técnica e científica para o desenvolvimento de estudos sobre o comportamento silvicultural e finalidades econômicas, são consideradas aquelas realizadas por Edmundo Navarro de Andrade, em Jundiaí e Rio Claro, no estado de São Paulo. Essas foram realizadas para suprir as demandas de lenha, postes e dormentes da extinta Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF) (denominada Ferrovia Paulista S.A. - Fepasa no período de 1971 a 1998 e incorporada posteriormente à atual Rede Ferroviária Federal), a partir de 1904. Segundo Jacobs (1979), no período de 1905 a 1915, Edmundo Navarro de Andrade estabeleceu uma ampla série de testes envolvendo 144 espécies dos gêneros, inclusive o famoso arboreto do Horto de Rio Claro, SP. Entretanto, conforme relato de Löefgren (1906), sementes de 53 espécies e variedades de eucaliptos já haviam sido importadas do Jardim Botânico de Sydney, na Austrália, para o estabelecimento de plantios experimentais e coleções/arboretos no Horto Botânico da Cantareira, São Paulo, em 1898. Neste mesmo ano, de acordo com Ferreira (2016), o Instituto Agronômico de Campinas, por intermédio da Secção de Introdução de Plantas, estabeleceu o Programa de Introdução de Espécies e Variedades de Eucaliptos, revelando que, mesmo antes da criação do Horto de Jundiaí pela ex-CPEF, em 1904, os eucaliptos já eram cultivados no Estado, em função de sua importância econômica. Os estudos desenvolvidos em Rio Claro foram considerados avançados para a época, sendo encontradas espécies muito promissoras à eucaliptocultura no Brasil, por Navarro de Andrade. de um total de mais de 200 lotes de sementes australianas avaliados nos testes de campo, 30 foram considerados de alta importância para a continuidade da experimentação em diferentes regiões brasileiras (Jacobs, 1979). No período de 1916 a 1960, a ex-CPEF deu início à produção e comercialização de sementes obtidas de plantios resultantes daquele material original introduzido por Edmundo Navarro de Andrade, predominantemente de *E. grandis (Maiden)* Hill e *E. saligna* Smith. Segundo Ferreira e Santos (1997), do total das sementes comercializadas nesse período por aquela Cia, 60% eram de *E. grandis* e *E. saligna, 24%* de *E. urophylla* S.T. Blake (*E. alba* de Rio Claro) e *Corymbia citriodora* (Hook.) Hill & Johnson, 14% de *E. tereticornis, E. paniculata* Smith*, E. robusta, E. camaldulensis* Dehn*, C. maculata* (Hook.) Hill & Johnson e *E. microcorys* F. Muell. e 2% de outras espécies de eucaliptos. A silvicultura intensiva brasileira com eucaliptos

nesse período era caracterizada pela utilização exclusiva de sementes produzidas pela ex-CPEF, segundo Ferreira (1992), dentre outros fatores.

A avaliação dos plantios realizados com essas sementes de Rio Claro revelou, no entanto, alta heterogeneidade entre árvores, tanto para características botânicas quanto silviculturais, indicando que o sistema de produção de sementes conduzido por aquela Cia favorecia muito a hibridação espontânea, expressada pela variabilidade fenotípica das mudas produzidas. Ainda, os rendimentos médios não ultrapassavam 17-20 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Esses foram, assim, os principais motivos para o estabelecimento do programa de melhoramento genético desenvolvido por Carlos Arnaldo Krug, a partir de 1941, e que resultou na oportunidade de introduzir e testar novas espécies e procedências de eucaliptos no Horto de Rio Claro, SP, conhecidas como "Coleção Nova", para atender a seleção de árvores superiores, o estabelecimento de áreas produtoras de sementes, a síntese de híbridos interespecíficos, a seleção de híbridos espontâneos no Brasil e a obtenção de híbridos selecionados em outros países (Ferreira; Santos, 1997).

A convite da Champion Papel e Celulose S.A. (atual International Paper), em 1967, Bruce J. Zobel da North Carolina State University realizou trabalho de assessoria ao setor florestal brasileiro, na área de melhoramento genético. Nesse trabalho foram identificadas as melhores fontes para a importação e produção de sementes, contribuindo para a intensificação dos estudos de seleção de espécies e procedências de sementes de eucaliptos (Ferreira, 2001).

Em 1969, as empresas Champion Papel e Celulose S.A. e Duratex S.A., preocupadas com a qualidade genética e fisiológica das sementes produzidas pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef/Fepasa), trouxeram ao Brasil o professor Lindsay Dixon Pryor. Ao tomar conhecimento dos problemas, Pryor recomendou a introdução de novas procedências de sementes para as principais espécies plantadas e a introdução de novas espécies e procedências para testes, visando a ocupação de novas áreas ecológicas à eucaliptocultura no Brasil. Em 1970, com a indicação do professor Pryor, novo material genético de *E. grandis* procedente de Coff's Harbour-New South Wales-Austrália, fornecido por Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), foi introduzido no Brasil pela Champion Papel e Celulose S.A. e Duratex S.A., o que propiciou um aumento da produção de madeira de 17-30 m^3 ha^{-1} ano^{-1} para 30-50 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Segundo Ferreira e Santos (1997), os resultados obtidos com a introdução deste novo material aos plantios comerciais de *E. grandis* colaboraram para a intensificação dos estudos de procedências de sementes das espécies de eucaliptos mais importantes à silvicultura nacional, ocasião em que também foi iniciado o Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (Prodepef), em 1971, resultante do convênio PNUD/FAO/ex-IBDF, sob a coordenação de Lamberto Golfari e colaboradores, e com o apoio de CSIRO. Neste período foram introduzidas, não só para testes mas também para plantios comerciais em pequena escala, novas

procedências de *E. grandis* de Zimbabwe e da África do Sul, visando formar novas populações para os programas de melhoramento genético da espécie. A partir do uso dessas sementes, houve a rápida expansão dos reflorestamentos brasileiros estimulados pelos incentivos fiscais, que tiveram início em meados da década de 1960.

O surgimento do cancro basal nas regiões tropicais do Brasil, causado pelo fungo *Chrysoporthe cubensis*, ocorrido inicialmente em plantações de eucaliptos no Espírito Santo, na década de 1970, ocasionou não só o necessário aperfeiçoamento de técnicas de seleção de árvores, hibridação e de propagação vegetativa, para a obtenção de genótipos produtivos e resistentes à doença, mas também abreviou o processo de (re)introdução de novos materiais genéticos de eucalipto para testes. Intensas geadas nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, ocorridas em meados da década de 1970, também demonstraram que as espécies/procedências consideradas, até então, como aptas aos plantios dessas regiões (por exemplo, *E. grandis* e *E. saligna*), não eram realmente tolerantes às geadas fortes, alertando para a necessidade de intensificar a seleção e obtenção de procedências de sementes de espécies potenciais situadas em menores latitudes e maiores altitudes na região de origem. Para resolver não só estes problemas, mas também para ampliar a base genética das populações de melhoramento existentes, formar populações base mais representativas das espécies, procedências e progênies e estabelecer novas estratégias ao melhoramento florestal para as novas áreas ecológicas à eucaliptocultura, algumas empresas privadas do setor florestal e instituições de pesquisa empreenderam expedições à Austrália e Indonésia, a partir de meados da década de 1970. Essas foram direcionadas, principalmente, para a obtenção de materiais genéticos de eucaliptos e corímbias, com base em amostragens representativas das populações originais e adequadas aos seus respectivos programas de melhoramento genético. Como exemplos de instituições que empreenderam essa iniciativa, podem ser citadas: Companhia Vale do Rio Doce/Florestas Rio Doce (atual Vale S.A.); Acesita Energética S.A/Florestal Acesita S.A. (atual ArcelorMittal BioFlorestas/Fundação Aperam); Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira (atual Belgo Bekaert/ArcelorMittal); Aracruz Celulose S.A. (atualmente Fibria S.A./Suzano.); Klabin S.A.; Suzano Papel e Celulose S.A.; Votorantim Celulose e Papel (VCP) (atual Fibria S.A./Suzano); Mannesmann S.A. (atual V&B Tubes); Companhia de Celulose do Sul - Riocell (atual CMPC Celulose Riograndense); Rigesa, Celulose, Papel e Embalagens/MeadWestvaco Corporation (atual West Rock); Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (Ipef) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

O acesso a materiais genéticos originários de populações florestais naturais em países estrangeiros, como é o caso dos eucaliptos e corímbias, não é um processo simples, pois depende da legislação de ambos os países importador e exportador. Além disso, o custo pode ser elevado, devido à necessidade de contar com pessoal especializado para a coleta de germoplasmas em diversos locais e sob diferentes condições. Assim, são maiores as possibilidades e os benefícios quando esse objetivo é alcançado

por intermédio de programas cooperativos internacionais, multi-institucionais. Neste caso, não se poderia deixar de destacar a iniciativa da Organização das Nações Unidas para a Alimentação (FAO), por meio de seu Departamento Florestal, ao desenvolvimento de importante programa de conservação de recursos genéticos florestais, com extensa programação de coleta de sementes em áreas de ocorrência natural de espécies arbóreas. Esse programa vem fornecendo suporte expressivo às instituições tais como Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) na Austrália, Commonwealth Forestry Institute (CFI) (Oxford Forestry Institute - UK), ex-Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) (atual Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) na França, Danish International Development Agency (DANIDA) na Dinamarca e The Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative (CAMCORE) nos Estados Unidos da América do Norte. Estas instituições atuaram e vêm atuando de forma integrada e estratégica ao planejamento, coordenação e à distribuição de materiais genéticos de espécies potenciais a diversos países. Dentre as organizações internacionais que forneceram ou vêm fornecendo materiais genéticos de eucaliptos e corímbias ao Brasil e outros países, para a realização de testes e ao desenvolvimento de programas de melhoramento e conservação genética, destacam-se, principalmente, CSIRO, CTFT/CIRAD e CAMCORE.

Não são disponíveis informações reunindo todas as introduções de *Eucalyptus* e *Corymbia* realizadas até agora no Brasil. Existem, entretanto, algumas informações sobre materiais introduzidos, em períodos determinados, para um grupo de espécies/procedências/árvores amostradas na origem ou introduções de procedências/árvores amostradas para uma determinada espécie e período. Por exemplo, levantamento realizado pelo Ipef contabilizou 2.200 lotes de sementes de 55 espécies e procedências de eucaliptos introduzidos apenas pelas suas empresas associadas e pelo ex-Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) (atual Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama), no período de 1970 a 1984, conforme relatado por Ferreira e Santos (1997).

Baseando-se em informações obtidas do Prodepef/ex-IBDF/Embrapa, do Setor de Sementes do Ipef e de arquivos de projetos de suas empresas associadas, além de outras instituições que forneceram dados cadastrais do material genético introduzido em seus plantios, o Ipef disponibilizou dados de uma importante coletânea de espécies/procedências de eucaliptos e corímbias (Ipef, 1984). Excluindo-se os lotes de sementes desta coletânea cujas procedências são nacionais, ou seja, computando-se apenas o material genético oriundo do exterior, é possível contabilizar aproximadamente 1.700 lotes de sementes de 97 espécies de eucaliptos e corímbias.

Para determinadas espécies desses gêneros, por exemplo, alguns autores se empenharam ao fornecimento de informações mais completas sobre os germoplasmas introduzidos no Brasil, tais como ocorreram nos trabalhos de Reis et al. (2017) e de

Moura (2003b) para *E. cloeziana* F. Muell.; Reis et al. (2014a, 2014b) para *Corymbia maculata* e *Corymbia torelliana* (F. Muell.) Hill & Johnson, respectivamente; Reis et al. (2013a) para *C. citriodora*; Moura (2004) para *E. urophylla* e Moura (2003a) para *E. brassiana* S.T. Blake.

No período de 1981 a 2012, segundo informação obtida do Australian Tree Seed Centre/CSIRO, foram destinados ao Brasil 1.323 lotes de sementes de 218 espécies, subespécies e variedades de *Eucalyptus* e *Corymbia*, para diversas instituições e empresas públicas e privadas nacionais e multinacionais.

Em 2004, em função da importância deste patrimônio genético de espécies introduzidas ao Brasil, o Ipef realizou um levantamento da rede experimental de melhoramento e conservação genética de *Eucalyptus* e *Corymbia* pertencentes às suas empresas associadas e à Embrapa e seus parceiros, com o objetivo de identificar os germoplasmas mais importantes para o desenvolvimento de projeto denominado "Resgate, conservação e fornecimento de materiais genéticos de *Eucalyptus* spp. (raças locais), em diferentes regiões edafoclimáticas" (Souza et al., 2005). Como parceira no referido projeto, a Embrapa Florestas disponibilizou materiais genéticos de suma importância, introduzidos a partir de 1977 (Ipef, 2006).

Uma das mais recentes introduções de *Eucalyptus e Corymbia* no Brasil, cuja coleta de sementes amostrou populações naturais australianas, foi feita pelo Ipef e empresas associadas, em 2010, envolvendo procedências de 50 espécies obtidas diretamente do CSIRO, após expedição brasileira realizada na Austrália. O respectivo processo de importação das sementes foi finalizado em meados de 2012, com os objetivos de atender a demanda das empresas associadas e realizar estudo de zoneamento ecológico de espécies potenciais, cuja rede experimental vem testando materiais sem ou com pouco uso no Brasil, em diversas condições edafoclimáticas, para a melhoria da qualidade da madeira, tolerância a pragas e doenças, resistência à deficiência hídrica e identificação de materiais potenciais à hibridação interespecífica com materiais já usados no Brasil (Ipef, 2012).

Embora não totalmente reunidas e disponibilizadas as informações sobre as introduções realizadas até o momento, pois foram muitas as entidades brasileiras e multinacionais no País que importaram materiais genéticos desses gêneros, pode-se afirmar que o Brasil é detentor do maior patrimônio genético ex situ de eucaliptos e corímbias do mundo.

Na Austrália, áreas de planaltos abrigam populações naturais de diferentes espécies de eucaliptos, sendo protegidas como um habitat importante para aquelas ameaçadas de extinção. Quase 45% da área protegida do continente australiano são públicas e administradas por governo nacional ou estadual, responsável por mais de sete mil dessas áreas protegidas, cobrindo mais de 66 milhões de hectares e representando 8% da superfície daquele continente. Muitas áreas com populações naturais de *Eucalyptus* na Austrália, tais como *E. grandis, E. camaldulensis, E. pellita* F. Muell.*, E. resinífera*

Smith*, E. dunnii* Maiden e *E. benthamii* Maiden & Cambage, e que são de interesse à silvicultura brasileira, vêm sendo transformadas em parques nacionais/áreas protegidas, os quais impõem grande burocracia ou mesmo veto à coleta de sementes nessas áreas. Assim, será cada vez mais difícil ou mesmo inviável no futuro obter novos materiais genéticos de eucaliptos e corímbias de origem australiana. *Eucalyptus urophylla*, também apresentando grande importância econômica à silvicultura brasileira, principalmente aos programas de produção de híbridos interespecíficos, é espécie endêmica ocorrendo naturalmente nas encostas de montanhas vulcânicas de sete ilhas da região Leste da Indonésia e cujo material com base genética apropriada também foi introduzido no Brasil. No arquipélago de Sonda, que engloba tais ilhas, existem vulcões que, segundo o Instituto Smithsonian, irromperam pelo menos uma vez em 500-1.000 anos nas Ilhas Flores, Adonara, Lomblem e Pantar, influenciando a estrutura genética das populações dessas ilhas. Populações de *E. urophylla* nessas ilhas, assim, também correm o risco de serem perdidas, caso tais vulcões entrem em atividade.

Não restam dúvidas, portanto, sobre a necessidade de preservar a diversidade e integridade de tal patrimônio genético de eucaliptos e corímbias, quer sob a responsabilidade do setor público ou privado brasileiro, para eventuais necessidades futuras ou emergenciais.

Bases institucionais e estruturação da Embrapa à pesquisa com eucaliptos e corímbias

O Decreto-Lei n° 289, de 28 de fevereiro de 1967, atribuiu ao ex-IBDF a competência para a realização da pesquisa florestal, no âmbito do Mapa, facultando-lhe também o poder de delegar a sua execução a terceiros (Brasil, 1967). O estatuto da Embrapa, aprovado pelo Decreto n° 75.374, de fevereiro de 1975 (Brasil, 1975), por sua vez, incumbiu-lhe o desenvolvimento da pesquisa agropecuária, inclusive podendo estendê-la aos assuntos florestais, se necessários. Face às dificuldades do ex-IBDF para desenvolvê-la a contento e pelo fato de a Embrapa já dispor de infraestrutura mínima ajustada para tal, delegou-se a ela a responsabilidade de desenvolver a pesquisa florestal no âmbito do Mapa, em nível nacional.

Oficialmente, a pesquisa florestal na Embrapa teve início em maio de 1977, com a criação do "Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF)", resultante do convênio firmado com o ex- IBDF (atual Ibama). Com o apoio da Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), o PNPF foi apresentado à comunidade florestal em reunião ocorrida em 1978, ocasião em que foi aprovado e implantado no Sistema Cooperativo de Pesquisa Agropecuária da Embrapa. Entretanto, desde a criação da Embrapa ocorrida em abril de 1973, algumas de suas Unidades, tais como a Embrapa Cerrados,

a Embrapa Amazônia Oriental e a Embrapa Semiárido, respectivamente atuando nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, já vinham conduzindo alguma experimentação na área florestal.

Durante a sua vigência (1977-1992), o PNPF contou ainda com o suporte técnico das Empresas Estaduais de Pesquisa Agropecuária (principalmente do Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba, Minas Gerais, Mato Grosso, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), além de outras Unidades Descentralizadas da Embrapa (Embrapa Acre, Embrapa Rondônia, Embrapa Amapá, Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Agroindústria Tropical e Embrapa Cenargen), Universidades (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Esalq e Universidade Federal de Viçosa (UFV)) e instituições de pesquisa florestal (Fundação de Pesquisa Florestal (Fupef)). Nesses locais, foram lotados pela Embrapa, 22 pesquisadores e técnicos, perfazendo quase um quarto do corpo técnico total do PNPF, no referido período (Anexo 1).

Para atender as demandas da pesquisa florestal, principalmente das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, o PNPF contou com a Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (URPFCS), criada em março de 1978 pela Embrapa.

Por via daquele convênio, foi delegada à Embrapa a coordenação, execução e apoio à pesquisa florestal brasileira, no âmbito do Ministério da Agricultura. Até meados de 1984, a coordenação do PNPF esteve sediada em Brasília, DF, quando foi transferida, então, para a URPFCS, em Colombo, PR. Em outubro de 1984, a referida Unidade Regional foi transformada no Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Embrapa Florestas), passando a coordenar e executar toda a pesquisa florestal nacional, no âmbito do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa).

O convênio firmado com o ex-IBDF permitiu à Embrapa estabelecer e coordenar o Programa Nacional de Pesquisa de Florestas (PNPF). Mesmo não dispondo da estrutura necessária, o ex-IBDF foi capaz de gerar importantes resultados da pesquisa florestal desenvolvida no curto período de tempo (dez anos) em que essa lhe foi atribuída. Alguns exemplos desses resultados são os trabalhos pioneiros de Zoneamento Ecológico para Reflorestamento no Brasil, para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e para a região Nordeste, por meio de estudos conduzidos por Lamberto Golfari, perito da FAO, e colaboradores, amparados pelo importante convênio estabelecido entre o Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (PNUD), a Organização das Nações Unidas para a Alimentação (FAO) e o extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), de grande importância para o desenvolvimento da eucaliptocultura brasileira (Golfari, 1967, 1971, 1975, 1976, 1978a, 1978b; Golfari; Pinheiro Neto, 1970; Golfari; Caser, 1977; Golfari et al., 1978; Golfari; Moosmayer, 1980; Moura et al., 1980). Entre as valiosas informações contidas nestes documentos, ressalta-se a indicação do potencial silvicultural de espécies em nível de procedências de sementes, inclusive para a experimentação, em

função de sua importância ao planejamento da pesquisa regional, no que se refere às posteriores introduções de materiais genéticos para teste. Tal consideração, em termos de desenvolvimento de pesquisas desta natureza, tornou-se relevante, uma vez que a maioria dos ensaios de introdução de eucalipto no Brasil, estabelecidos até o final da década de 1960, testou o gênero apenas em nível de espécies.

As introduções de materiais genéticos de espécies de eucaliptos e corímbias, quer realizadas por instituições de pesquisa ou por empresas florestais privadas brasileiras (Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal, 1975, 1976a, 1976c, 1976d; 1977; Ipef, 1984), embora tenham ocorrido esparsamente desde o início do século passado, tiveram a sua implementação na década de 1970, em que se relevou a preocupação de ampliar a base genética das populações de melhoramento mais importantes à silvicultura nacional e testá-las em nível de progênies ou famílias. Grande parte do aumento de produtividade de madeira verificado até o final da década de 1980, chegando até a duplicar em algumas regiões brasileiras, deveu-se à correta escolha da espécie, à seleção adequada de procedências de sementes e à utilização de fontes melhoradas de materiais reprodutivos, empregados na eucaliptocultura, vis-à-vis com as condições ecológicas dessas regiões. Em nível de procedências de sementes, tais estudos receberam um grande impulso no Brasil, após a execução do Prodepef, iniciado em 1971, resultante do convênio PNUD/FAO/ex-IBDF. Para a execução e acompanhamento da respectiva rede experimental, houve a participação de 17 instituições nacionais de pesquisa, ensino e desenvolvimento regional, e de 41 empresas privadas do setor, atuantes em dez Estados da União. Os experimentos com eucaliptos envolveram 386 procedências de sementes de 83 espécies (705 lotes de sementes obtidos de CSIRO/Austrália), com material suficiente ao estabelecimento de 106 testes em 46 municípios de nove Estados brasileiros e com a parceria de outras 34 instituições, cujos resultados foram importantes ao desenvolvimento da eucaliptocultura e ao planejamento da pesquisa florestal brasileira (Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal,, 1975, 1976c, 1976d; Pinto Júnior; Ferreira, 2008). A partir desse momento, uma das principais preocupações das empresas florestais passou a ser a produção de sementes das melhores procedências introduzidas e das melhores raças locais existentes. As instituições que desenvolviam o melhoramento genético, inclusive as empresas florestais privadas, intensificaram seus trabalhos, visando atender a crescente demanda por sementes melhoradas de eucaliptos e corímbias, realizando novas introduções e avançando os estudos de adaptação de espécies/procedências em relação ao solo e novas técnicas de manejo. Os programas cooperativos na área de melhoramento genético florestal viriam a desempenhar um importante papel para o alcance das metas crescentes de produtividade das florestas plantadas no Brasil.

A maioria das fontes comerciais de sementes de eucaliptos disponíveis nas décadas de 1960 e 1970 apresentava, contudo, um elevado nível de hibridação para ser utilizada como material básico à seleção e melhoramento, restringindo o seu uso

em função da limitada possibilidade de ganhos de produtividade. Esta séria ameaça ao progresso da eucaliptocultura motivou a reintrodução de material genético básico aos diversos programas cooperativos de melhoramento e de conservação genética conduzidos por diversas instituições e empresas públicas e privadas, entre elas a Embrapa.

A rede experimental do Prodepef em Minas Gerais, por exemplo, foi também avaliada pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef), em 1978, com o objetivo de fornecer informações sobre a adaptabilidade e crescimento de espécies e procedências de eucaliptos e corímbias testadas, além de subsidiar a necessária revisão dos respectivos programas de melhoramento, principalmente em termos de identificação e importação de materiais genéticos potenciais à pesquisa e ao abastecimento de sementes comerciais à silvicultura mineira. Toda a experimentação de eucalipto e pínus em Minas Gerais, ao alcance do Ipef e empresas associadas, naquela época, foi avaliada e os resultados foram publicados nos trabalhos de Ferreira et al. (1978) e Kageyama et al. (1978). Informações detalhadas sobre as contribuições do ex-IBDF à silvicultura brasileira e ao desenvolvimento ambiental podem ser vistas na base de dados do Ibama (Ibama, 2013), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2013) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2013), entre outras instituições.

A partir de maio de 1977, a coordenação e apoio à execução da pesquisa florestal, no âmbito do Governo Federal, até então sob a responsabilidade do ex-IBDF, foi delegada à Embrapa, que passou a gerenciar uma rede com 611 experimentos de campo (455 transferidos do do Prodepef pelo ex-IBDF), tratando de diversos temas da ciência florestal. Concebido no âmbito federal e com atuação baseada em centros/unidades regionais de pesquisa, o PNPF teve, como maior mérito, o privilégio de ser implementado num modelo de administração colegiada, com intensa participação da sociedade em todas as etapas de sua concepção e execução. Desde a fixação das prioridades até a eleição e aprovação dos projetos de pesquisa, sempre houve a efetiva participação da sociedade organizada, universidades, instituições públicas de pesquisa e da iniciativa privada. O enfoque principal foi a viabilização dos Programas Nacionais de Desenvolvimento pelo Governo Federal.

Contando com expressiva cooperação de todos os segmentos do setor florestal brasileiro, foi possível à Embrapa desenvolver o PNPF que representou, aproximadamente, um terço de todo o esforço nacional em termos da experimentação florestal instalada no território brasileiro, no período de sua vigência (1977 a 1992), contribuindo significativamente para a solução dos principais problemas florestais nacionais.

Formalmente, o PNPF foi gerenciado por um comitê com cinco membros (presidentes do ex-IBDF e da Embrapa; dois diretores de cada uma destas instituições e um coordenador executivo da Embrapa), e assessorado por um conselho constituído de nove membros. Destes, um era membro nato (coordenador geral do PNPF) e os demais

designados e representantes das seguintes entidades de classe: Sociedade Brasileira de Silvicultura; Associação Brasileira dos Reflorestadores; Associação Nacional dos Fabricantes de Celulose e Papel; Associação Brasileira dos Fabricantes de Carvão Vegetal (atual Associação Mineira de Silvicultura (AMS)); cursos de engenharia florestal e instituições privadas de pesquisa (cooperação técnica entre universidades e empresas privadas do setor florestal). Para a gestão de suas atividades, o PNPF contou com um coordenador nacional e respectivo assessor técnico, coordenadores regionais destinados ao Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sul e de profissionais lotados nas empresas estaduais de pesquisa agropecuária e universidades, cujo apoio foi imprescindível ao desenvolvimento do PNPF (Anexo 1).

O principal problema enfrentado pelo PNPF foi a baixa produtividade e qualidade das florestas plantadas, devido à indisponibilidade de material genético adequado e de técnicas corretas de implantação e manejo florestal. Assim, estabeleceu-se como meta econômica do PNPF, no início da década de 1980, o aumento da produtividade de madeira de eucaliptos, de 25 para 40 estéreos ha^{-1} ano^{-1} e de pínus, de 25 para 35 estéreos ha^{-1} ano^{-1}; além da redução do custo da madeira em 20%, no mínimo. As orientações básicas no direcionamento do programa de melhoramento eram o prosseguimento dos estudos de espécies e procedências iniciados pelo Prodepef e a avaliação da rede experimental nacional estabelecida. A partir de levantamento das fontes disponíveis de material genético das espécies potenciais à silvicultura brasileira, adequado ao desenvolvimento de programas de melhoramento e de conservação genética, o PNPF estabeleceu, como ação prioritária, a introdução de sementes das procedências mais promissoras de espécies desses gêneros, por meio da cooperação com instituições nacionais e internacionais.

As principais linhas de pesquisa do PNPF foram: (i) melhoramento e conservação genética; (ii) implantação, nutrição de plantas, ciclagem de nutrientes e manejo florestal; (iii) propagação de plantas e viveiros; (iv) tecnologia de pólen e sementes; (v) sistemas agrossilvipastoris (ILPF); (vi) proteção florestal; (vii) tecnologia da madeira; (viii) ecologia e hidrologia florestal; (ix) microbiologia do solo; (x) dendrologia, dendrometria e inventário florestal; (xi) economia e administração florestal; e (xii) exploração e mecanização florestal.

No amplo e abrangente Sistema Cooperativo de Pesquisa Florestal da Embrapa, o PNPF teve o privilégio de contar com a colaboração de 307 empresas públicas e privadas, sendo 246 nacionais e 61 internacionais (Anexo 2). Do total de instituições nacionais, 212 foram parceiras na execução de 318 projetos de pesquisa desenvolvida no âmbito do Mapa, abrangendo 20 Estados da União, no período de 1979 a 1992.

Os resultados obtidos da rede experimental herdada do ex-IBDF, inclusive os trabalhos pioneiros de Zoneamento Ecológico para Reflorestamento no Brasil realizados no âmbito do Prodepef, muito contribuíram à realização dos trabalhos de

Zoneamentos Ecológicos para Plantios Florestais elaborados pela Embrapa Florestas, aos Estados do Paraná e Santa Catarina, em meados da década de 1980.

As empresas privadas de base florestal apoiaram incondicionalmente o PNPF, principalmente nas pesquisas relacionadas com o melhoramento e conservação genética, silvicultura, manejo e agrossilvicultura, envolvendo mais de uma centena de espécies arbóreas introduzidas e nativas. Iniciou-se, naquela época, uma crescente preocupação ambiental, considerando a importância das florestas plantadas e naturais no equilíbrio ecológico e na manutenção da biodiversidade. As pesquisas produziram, também, resultados importantes nas áreas de manejo de florestas tropicais densas e controle biológico de pragas e doenças. Estes resultados foram alcançados graças aos esforços realizados pelas diversas Unidades Descentralizadas da Embrapa, que atuaram em parceria com as instituições públicas e privadas nas diversas regiões brasileiras. Além da Embrapa Florestas, foram importantes as participações da Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Semiárido, Embrapa Cerrados, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Embrapa Rondônia, Embrapa Acre, Embrapa Amapá, Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Agrobiologia, Embrapa Agroindústria Tropical, além das Empresas Estaduais de Pesquisa Agropecuária, Universidades e Instituições públicas e privadas do Ssistema Coopearativo de Pesquisa Agropecuáraia (SCPA).

No período de 1978 a 1992, o PNPF possibilitou a publicação de 555 trabalhos técnicos e científicos, tendo como autores 344 profissionais de diversas instituições de pesquisa e ensino, nacionais e internacionais (Pinto Júnior; Ferreira, 2008).

A promoção constante de eventos técnicos e científicos, versando sobre assuntos de importância à pesquisa e desenvolvimento florestal, sempre esteve presente nas atividades do PNPF, com o objetivo de reciclar informações e divulgar os resultados do sistema cooperativo de pesquisa agropecuária e florestal da Embrapa. Entre os mais importantes realizados no período de sua vigência, encontram-se 50 importantes eventos (tais como congressos, seminários, encontros, reuniões técnicas, dias de campo e cursos de treinamento e de aperfeiçoamento), que reuniram 2.306 profissionais de diversas instituições públicas e privadas de pesquisa, de ensino e extensão, e de empresas florestais privadas (Pinto Júnior; Ferreira, 2008).

Os contratos, convênios, acordos, memorandos de entendimento e cartas de intenções firmados pelo PNPF-Embrapa, com instituições nacionais e internacionais visaram, entre outros objetivos, garantir o cumprimento da programação de pesquisa. Complementarmente, promoveram o intercâmbio de conhecimentos e tecnologias entre as partes envolvidas, disponibilizando à sociedade os resultados profícuos desta interação. Até 1992, 84 contratos ou instrumentos legais similares foram firmados e executados regularmente, envolvendo cerca de 70 instituições nacionais e 23 internacionais de 20 países (Pinto Júnior; Ferreira, 2008). Desde o início de suas atividades, a Embrapa vem praticando a cooperação internacional como instrumento para

o seu fortalecimento institucional, recebendo-a diretamente de países desenvolvidos e de organismos multilaterais de apoio ao desenvolvimento. Na medida em que a Embrapa foi se fortalecendo, passou a prestar cooperação técnica a países em desenvolvimento, notadamente na forma de consultoria e intercâmbio de material genético melhorado para as condições edafoclimáticas tropicais, beneficiando as atividades agropecuária e florestal de muitos países da África, América Central e Caribe, entre outros. Informações detalhadas e preciosas a respeito desse intercâmbio ocorrido nas décadas de 1970 e 1980, incluindo a área florestal, podem ser obtidas no trabalho de Galvão (1991), que analisou os fatores que influenciaram a execução e administração de projetos bem sucedidos no período, apresentando também sugestões e recomendações para o aumento de sua eficiência.

A pesquisa desenvolvida pelo PNPF, além do constante apoio recebido das empresas florestais públicas e privadas brasileiras, teve o suporte financeiro de instituições internacionais e nacionais. Entre as estrangeiras, destacaram-se o International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) (Banco Mundial/ USA), que contribuiu decisivamente para o desenvolvimento da atividade agroflorestal das regiões Nordeste, Amazônia Legal e Pantanal. Também importante foi o apoio do Interamerican Development Bank (BID), que financiou parcialmente o Programa de Desenvolvimento da Pesquisa Agropecuária na Região Centro-Sul (Procensul). Estes possibilitaram ainda construções e reformas de edificações, aquisição de veículos, máquinas, implementos e insumos agrícolas, mobiliários, materiais e equipamentos de laboratório, contratação de consultoria nacional e estrangeira e a especialização de pesquisadores no exterior e no País, o que poupou significativos recursos do Governo Federal. Merece destaque também o apoio da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), por meio do convênio entre o PNUD e o ex-IBDF, que financiou o financiou o Prodepef, garantindo a introdução de diversos materiais genéticos de eucaliptos e corímbias para testes, dentre outras espécies. Outras instituições internacionais também apoiaram financeiramente o PNPF, tal como o International Development Research Centre (IDRC-Canadá), destinando recursos principalmente à região Nordeste. Entre as agências nacionais que apoiaram o PNPF, merecem também destaque a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), a Financiadora de Projetos e Estudos do Banco do Brasil (Fipec), o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Devem ser ressaltados, ainda, os apoios da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (Sudam), do Polo de Desenvolvimento da Amazônia (Polamazônia) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene). Complementarmente, merecem ser registrados os repasses financeiros provenientes do ex-IBDF, referentes à alíquota de 1% dos recursos financeiros destinados ao reflorestamento brasileiro, redirecionados às pesquisas prioritárias do setor.

Uma das mais importantes metas do PNPF-Embrapa relacionou-se ao aumento da produtividade de madeira das florestas plantadas. Como uma das principais ferramentas ao aumento da produtividade florestal, a área de melhoramento florestal foi então rapidamente implementada. Para tanto, uma das primeiras medidas tomadas pelo PNPF foi a constituição e coordenação nacional do Grupo Permanente de Trabalho em Melhoramento Genético Florestal (GPTMGF), congregando diversos especialistas das principais instituições de pesquisa e universidades brasileiras (Galvão, 2001).

Em função da importância econômica ao setor de florestas plantadas, o PNPF concentrou esforços ao desenvolvimento de programas de melhoramento genético de espécies (introduzidas e nativas) de rápido crescimento, principalmente do gênero *Eucalyptus*, dentre outros.

A pesquisa com seleção de espécies e procedências de sementes de eucaliptos e corímbias realizada inicialmente pela Embrapa, na vigência do PNPF

A pesquisa com eucaliptos e corímbias desenvolvida pela Embrapa e parceiros concentrou-se, principalmente nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, a partir de 1977, em função da grande demanda por tecnologias e soluções à silvicultura desses gêneros. Alguns exemplos de resultados obtidos dessa parceria com o setor privado e público são fornecidos adiante.

Região Nordeste

Devido à expansão das indústrias de transformação e à crescente demanda de madeira nas regiões áridas e semiáridas do Nordeste, foi impositivo à pesquisa florestal buscar materiais genéticos que incrementassem a produção madeireira para uso nas propriedades rurais e propósitos energéticos. A baixa produtividade madeireira da Caatinga (7 $m^3 ha^{-1}$ a 58 $m^3 ha^{-1}$) e a sua exploração indiscriminada motivou a busca por espécies introduzidas e de rápido crescimento, para o estabelecimento de florestas plantadas. O emprego de leguminosas arbóreas, visando não só à produção de madeira, mas também forragem, constituiu-se numa importante alternativa econômica e social para a região.

O gênero *Eucalyptus* mereceu especial atenção nas pesquisas desenvolvidas pelo CPATSA (Embrapa Semiárido), na região semiárida do Nordeste. Testes envolvendo 24 espécies e 180 procedências australianas e brasileiras foram estabelecidos nos municípios de Caetité, Contendas do Sincorá, Brumado e Euclides da Cunha, BA; Trindade e Petrolina, PE; Umbuzeiro e Souza, PB; Pedro Avelino, RN e Barbalha, CE.

Em termos de produtividade de madeira, *E. camaldulensis, E. tereticornis, E. crebra* F. Muell. e *E. exserta* F. Muell. foram as espécies que mais se destacaram nesses locais. Para a maioria das localidades, *E. camaldulensis* foi a espécie que mostrou o maior valor para incremento anual de madeira. Em Brumado, BA (900 m de altitude), com clima mais ameno, *E. tereticornis* apresentou o maior incremento médio anual de madeira (62,5 $m^3 ha^{-1}$), enquanto que, em Contendas do Sincorá, BA, região apresentando extrema aridez, a produtividade dessa espécie foi dez vezes inferior. As espécies *E. crebra* e *E. exserta* também mostraram bom desempenho e produtividade de madeira para a região Semiárida, caracterizada por precipitações pluviométricas entre 250 mm e 750 mm anuais. Aos sete anos, avaliações de crescimento e sobrevivência de plantas mostraram a superioridade de algumas procedências de *E. camaldulensis* e *E. tereticornis*, que apresentaram rendimentos médios correspondentes a uma produtividade quatro vezes superior ao da vegetação nativa local. Produtividades anuais de madeira de *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* acima de 40 $m^3 ha^{-1}$, entretanto, só foram obtidas em sítios com condições edafoclimáticas favoráveis (Drumond et al., 2016).

Algumas espécies de eucaliptos, tais como *E. crebra*, apresentam eficientes mecanismos evolucionários para utilização dos fatores de crescimento, os quais possibilitam-lhes um rápido desenvolvimento mesmo em condições adversas do meio. Suportam, assim, diferentes graus de estresse hídrico e térmico, entre outros fatores. Essa espécie foi inicialmente testada em algumas regiões brasileiras, na rede experimental estabelecida pelo Prodepef/ex-IBDF, na década de 1970, apresentando bons resultados de desempenho, principalmente no Semiárido brasileiro. Diversas avaliações realizadas até os 17 anos de idade comprovaram o seu potencial para essa região, apresentando boa sobrevivência de plantas (média de 83%), boa sanidade, produtividade média anual de madeira de 27 $m^3 ha^{-1}$ e razoável produção de sementes em alguns locais dos estados de Pernambuco e Bahia, com precipitações pluviométricas anuais em torno de 600 mm. A madeira dessa espécie é resistente e apresenta alta massa específica básica e poder calorífico, propiciando uma importante opção à produção de energia. Nove procedências australianas de *E. crebra* foram, assim, importadas pelo CPATSA/PNPF-Embrapa e testadas em diversas localidades do Semiárido brasileiro (Caetité, Contendas do Sincorá, Brumado, Euclides da Cunha, BA; Petrolina e Trindade, PE; e Umbuzeiro, PB entre 1979 e 1985 (Drumond; Oliveira, 2006). Devido ao seu desempenho potencial no Semiárido brasileiro, atenção especial vem sendo dada à espécie, no tocante ao estabelecimento de populações base para melhoramento e conservação genética pela Embrapa Semiárido, que adquiriu de CSIRO 31 progênies procedentes de Queensland (Bogantungan/ Cooktown, Pentland e Torrens Creek Area), localidades australianas com aspectos de clima e de solo similares àquelas da região Semiárida brasileira. Dois testes conjugados de progênies e procedências foram instalados em Petrolina, PE e Niquelândia, GO, em áreas da Embrapa Semiárido e da empresa privada Anglo American Brasil-Unidade Codemin, com previsão de estender

essa pesquisa para outras regiões semiáridas do Brasil. Os resultados iniciais dessas pesquisas vêm comprovando o potencial de tolerância à seca desse novo material introduzido, além de outras pesquisas relacionadas à biologia reprodutiva, uso de novas técnicas de propagação, recombinação de genes e possibilidades de cruzamentos com outras espécies de maior potencialidade para produção de biomassa.

A Chapada do Araripe está inserida na Caatinga e é formada por um mosaico onde predominam manchas de Floresta Ombrófila e Estacional, Cerrado, Caatinga e Carrasco, um importante planalto localizado na divisa dos estados de Pernambuco, Piauí e Ceará. No lado pernambucano, vários municípios e dezenas de fábricas e olarias exploram o minério gipsita, a principal atividade econômica dessa região. Cerca de 70% da vegetação nativa original local já foi consumida para atender as necessidades anuais (industrial, comercial e domiciliar) de madeira da região. A indústria gesseira consome anualmente mais de dois milhões de metros estéreos de madeira e outros subprodutos energéticos de base florestal. As atividades do polo gesseiro concorrem para o agravamento dos problemas ambientais, por consumir a vegetação nativa em seus fornos de desidratação do minério. Tais impactos sobre a vegetação da Caatinga necessitam ser minimizados, com a substituição da madeira de matas nativas por madeira de florestas plantadas. Espécies de eucaliptos e seus híbridos, em função de seu potencial a diversas regiões brasileiras, para uso energético, passam a assumir grande importância econômica para a região. Nesses termos, a Embrapa Semiárido vem pesquisando a seleção de espécies e híbridos de eucaliptos para a região, por meio de testes estabelecidos na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), no município de Araripina, PE. Cinco espaçamentos de plantio (3 m x 4 m.; 3 m x 3,5 m.; 3 m x 3 m.; 3 m x 2,5 m. e 3 m x 2 m.) foram avaliados quanto à produtividade de madeira, para os híbridos de *E. brassiana* x *E. urophylla* e de *E. grandis* x *E. camaldulensis*. A avaliação realizada aos 18 meses de idade mostrou bons resultados para sobrevivência de plantas, em todos os espaçamentos testados. O hibrido *E. brassiana* x *E. urophylla* apresentou um bom potencial de crescimento e sobrevivência superior a 91% nos diferentes espaçamentos testados. O espaçamento 3 m x 4 m proporcionou maior crescimento em diâmetro (6,50 cm) e altura de 6,60 m, não sendo estatisticamente diferente dos demais espaçamentos testados. A produção volumétrica de madeira no espaçamento 3 m x 2 m. (26,8 m^3 ha^{-1}) foi significativamente superior aos demais, que tenderam a decrescer com o aumento do espaçamento. O hibrido *E. grandis* x *E. camaldulensis* apresentou sobrevivência média de 85,7% entre os diferentes espaçamentos. O crescimento médio em altura foi 6,40 m e em diâmetro 5,60 cm, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. A produção volumétrica média de madeira foi 23 m^3 ha^{-1}, variando de 20,9 m^3 ha^{-1} a 25,8 m^3 ha^{-1}. A avaliação desse mesmo teste, realizada aos quatro anos de idade para o híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis,* mostrou que a sobrevivência média de plantas manteve-se alta (90%) para os tratamentos, com altura média de 13,9 m. O volume de

madeira produzido pelo híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis,* no espaçamento 3 m x 2 m, foi significativamente superior (105 $m^3 ha^{-1}$) aos espaçamentos 3 m x 2,5 m (86.3 $m^3 ha^{-1}$) e 3 m x 3 m (78,3 $m^3 ha^{-1}$). Diante desse desempenho e produtividade de madeira, espécies de eucalipto e seus híbridos mostraram-se como uma alternativa potencial para ocupar determinadas áreas degradadas da Caatinga (Drumond et al., 2016).

Para garantir a disponibilidade de fontes de sementes melhoradas, com base genética adequada, para fins de multiplicação aos programas de melhoramento genético, no período de 1985 a 1992, o PNPF introduziu diversas populações base na forma de testes combinados de progênies e procedências de eucaliptos em cinco municípios da Bahia, em parceria com as empresas privadas Copener (atual Bahia Specialty Cellulose/Copener pertencentes à Bracell Limited), Duratex Florestal e Bahia Sul (atual Grupo Suzano). Foram contempladas as espécies *E. camaldulensis* (148 progênies, de 14 procedências) para o município de Olindina; *E tereticornis* para Jandaíra (55 progênies de 2 procedências) e Inhambupe (29 progênies de 2 procedências); *E. pellita* para Esplanada e Inhambupe (28 progênies de 2 procedências), Alcobaça (26 progênies de 2 procedências) e Jandaíra (23 progênies de 2 procedências); *E. resinifera* para Alcobaça (25 progênies de 1 procedência), Inhambupe (23 progênies de 1 procedência) e Jandaíra (23 progênies de 1 procedência); *E. cloeziana* para Inhambupe (71 progênies de 5 procedências) e Jandaíra (34 progênies de 4 procedências); *E. pilularis* Smith para Inhambupe (34 progênies de 52 procedências) e *C. maculata* para Inhambupe (24 progênies de 2 procedências).

Esses testes fizeram parte da rede experimental de melhoramento e conservação genética de eucaliptos e corímbias, coordenada pela Embrapa Florestas. A seleção dos melhores indivíduos dentro das famílias e procedências dessas espécies propiciou material de qualidade para a formação de bancos clonais, importantes fontes de material para os programas de melhoramento genético, inclusive para a produção de híbridos sintéticos e para a manipulação genética, via plantas transgênicas.

Espécies de eucaliptos também têm sido utilizadas pela Embrapa Semiárido nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou sistemas agroflorestais. A introdução de árvores em áreas com pastagens e, ou cultivos agrícolas pode promover vários benefícios ambientais para os demais componentes do sistema, como foi o caso do consórcio de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) com eucalipto, realizado na Chapada do Araripe, em Pernambuco. A produção de feijão (800 kg ha^{-1}) na fase inicial do plantio florestal contribuiu para a redução dos custos de implantação do empreendimento florestal (Drumond et al., 2016).

Região Norte

Um dos primeiros empreendimentos florestais da região Norte do Brasil foi realizado pela Jari Florestal e Agropecuária Ltda (atual Jari Celulose S.A.- Grupo Orsa), com base no projeto idealizado pelo norte-americano Daniel Keith Ludwig. Esse foi iniciado em 1967, na fronteira entre os estados do Pará e Amapá, para suprir uma fábrica de celulose com madeira de *Gmelina arbórea* Roxb. Ex Sm. Os primeiros plantios desta espécie foram feitos em larga escala a partir de 1968, no município de Almeirim, Distrito de Monte Dourado, PA. Em 1976, entretanto, surgiram os primeiros sintomas de ataque do fungo *Ceratocystis fimbriata* em plantações de gmelina (Muchovej et al., 1978), com agravamento da dispersão desse cancro a partir de 1980. Essa ocorrência obrigou a empresa a substituir os plantios de gmelina por espécies de pínus (*Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Sénéclauze) W. H. Barrett & Golfari) e eucalipto (principalmente *E. deglupta* Blume).

Trabalhos realizados em meados da década de 1970, no âmbito do Prodepef/ ex-IBDF, recomendaram espécies de eucaliptos para a região Amazônica, com base na analogia climática e no comportamento de espécies desse gênero em situações edafo-climáticas semelhantes. Essas recomendações foram essenciais ao desenvolvimento da eucaliptocultura regional, subsidiando importantes informações para a seleção de procedências de sementes de espécies adequadas à região Norte do Brasil. Golfari et al. (1978) identificaram regiões bioclimáticas, caracterizando extensas áreas de Rondônia e Acre: (i) região 19, ocupando todo o Acre e grande parte de Rondônia; (ii) região 13, representada por uma faixa estreita no Centro-Sul de Rondônia até a divisa com Mato Grosso e (iii) região 21, ocupando uma faixa estreita ao longo da fronteira de Rondônia até a Bolívia.

Para a região 19 foram indicadas as espécies *E. urophylla* (procedente de Timor ou Flores-Indonésia), *E. tereticornis* (Cocktown-QLD-Austrália), *Corymbia torelliana*, *E. deglupta* (para locais sem deficiência hídrica) e *E. robusta* (para locais inundáveis). Para a região 13 foram indicadas também as espécies *E. urophylla* (Timor ou Flores), *E. tereticornis* (Cocktown-QLD-Austrália), *E. camaldulensis* procedentes de Petford (QLD-Austrália) ou Gibb River (WA-Austrália), *E. pellita* procedente de Helenvale-QLD-Austrália e *E. cloeziana* procedente de Cocktown-QLD. Para a região 21 foram indicadas as mesmas espécies e procedências da região 19, com a inclusão de *E. camaldulensis*.

No período decorrente da recomendação de Golfari et al. (1978) até meados da década de 2000, empreendimentos florestais e a pesquisa desenvolvida na região geraram informações imprescindíveis para indicações mais seguras de seleção de material genético de eucalipto à região Norte do Brasil. Baseando-se nestes dados, Ferreira e Silva (2004) descreveram e também indicaram espécies de eucalipto aptas a essa região, apontando suas respectivas restrições de uso e disponibilidade de sementes

aos plantios comerciais. Segundo esses autores, de acordo com empreendimentos florestais realizados em condições climáticas comparáveis com as localidades envolvidas nessa região, destacaram-se aqueles realizados pela Cia Vale do Rio Doce (atual Vale S.A.) no Maranhão e da Jari Celulose S.A. no Amapá. Trabalhos desenvolvidos pela Vale, concentrados em Açailândia, MA, na região bioclimática 22 e cujo clima apresenta deficiência hídrica de moderada a forte, testando 39 espécies de eucaliptos, ressaltaram-se *E. urophylla, E. pellita, E. tereticornis* e *E. camaldulensis* pela produtividade de madeira e pelas características silviculturais. Na Celmar S.A.(atual Vale S.A.), foram introduzidos e testados híbridos de *E. grandis* procedentes de Rio Claro-SP e progênies de *E. urophylla*, algumas alcançando produtividade de madeira sólida com casca superior a 70 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ (Ferreira; Silva, 2004).

No Amapá, a Jari Celulose obteve resultados semelhantes, com destaques para híbridos de *E. grandis* e *E. urophylla*, onde plantios em larga escala alcançaram produtividades superiores a 40 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$. *E. deglupta* foi uma das espécies iniciais de eucaliptos escolhidas para plantios em larga escala pela Jari Celulose S.A., mas a ocorrência de longos períodos de estiagem na região impossibilitou o seu bom desenvolvimento (Ferreira; Silva, 2004).

Dentre os fatores limitantes à eucaliptocultura, a ocorrência de doenças vem limitando ou mesmo impedido o desenvolvimento de espécies tais como *E. grandis*, *E. urophylla* e híbridos entre essas duas espécies, não apenas na região Amazônica, mas também em outras regiões tropicais, cujo regime de chuvas é abundante e uniforme. Outras espécies tropicais, como *E. deglupta, E. brassiana, E. camaldulensis* e *E. tereticornis,* têm sofrido danos leves devido a doenças foliares, apresentando por vezes crescimento insatisfatório. *E. pellita*, por sua vez, apresentou maior tolerância às doenças foliares e crescimento superior às espécies anteriormente citadas, em diversas regiões tropicais com chuvas uniformes, ou períodos secos de curta duração, razão pela qual pôde ser indicado como espécie potencial aos programas de melhoramento de regiões tropicais (Ferreira; Silva, 2004).

Ferreira e Silva (2004) resumiram a indicação de espécies de eucaliptos para a região Amazônica da seguinte forma: com climas bastante distintos principalmente em Rondônia, onde ao sul (próximo à divisa com Mato Grosso) ocorre um período seco bem definido e outras áreas com climas tropicais úmidos com chuvas uniformes ou periódicas abundantes, surgiram duas situações bem distintas para a adaptação de espécies de eucaliptos. Os longos períodos quentes e úmidos facilitam a dispersão de doenças foliares e sua ação durante todo o ano, limitando o crescimento de espécies sensíveis à doença. Nessas áreas, os autores recomendaram *E.pellita,* que apresenta maiores possibilidades de sucesso. O plantio de outras espécies tropicais, tais como *E. deglupta, E. brassiana, E. tereticornis* e *E. camaldulensis*, tolerantes às doenças foliares, pode ser também recomendado, porém com perdas em crescimento volumétrico de madeira. Para a região bioclimática caracterizada por períodos secos de maior

duração, existem outras opções de espécies, tais como *E. urophylla, E. pellita, E. tereticornis, E. camaldulensis, E. cloeziana* e o híbrido "urograndis". Essas espécies devem ser usadas com cautela em plantios extensivos, em função da severidade climática e problemas inerentes.

Mais recentemente, entretanto, Santos et al. (2016) relataram a ocorrência do besouro-amarelo-do-eucalipto (*Costalimaita ferruginea*) em plantios de *E. pellita, E. urophylla* e *E. camaldulensis* no município de Senador Guimard, no Acre, primeiro registro dessa espécie de besouro desfolhador em plantações de eucalipto naquele Estado. Segundo esses autores, o ataque desse besouro é mais severo e intenso em *E, pellita*. Dessa forma, em função da importância dessas espécies à eucaliptocultura da região Amazônica, atenção especial deve ser dada à adoção não só de técnicas adequadas ao manejo e controle de doenças e pragas, mas também de estratégias de seleção e hibridação interespecífica para a obtenção de materiais genéticos resistentes às pragas.

Pesquisas conduzidas pela Embrapa Amazonia Oriental (CPATU), em Belterra, PA, com resultados experimentais obtidos aos 101 meses de idade, permitiram recomendar para a região do Baixo Tapajós, *E. urophylla* procedente de Salesópolis, SP (ex-Timor), *E robusta* procedente de Berburrum-QLD/Austrália e Bowenia SF-QLD, e *E. phaeotricha* Blakely & Mckie procedente de SW. of Atherton-QLD. *E. urophylla* apresentou incremento volumétrico de madeira de 25 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e sobrevivência de 73%. *E. robusta*, praticamente com 100% de sobrevivência de plantas, mostrou um incremento de 24,6 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e 23,7 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente àquelas procedências. Apesar de apresentar taxa de crescimento similar àquela de *E. robusta*, alguma restrição poderia ser feita para *E. grandis* em função de sua sobrevivência situada ao redor de 50%. *E. phaeotricha* apresentou incremento de 20,5 m^3 / ha^{-1} ano^{-1} e sobrevivência de 74%.

Tanto para a região do Baixo Tapajós como para o Rio Jari (Monte Dourado, PA) *E. brassiana* procedente de Morehead/Papua Nova Guiné mostrou potencial para solos arenosos, com incremento de 23,7 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e sobrevivência de 88%, aos 38 meses de idade. Na mesma idade, o incremento dessa espécie/procedência em solos argilosos da região do Rio Jari foi ligeiramente superior (24,4 m^3 ha^{-1} ano^{-1}) ao observado em solos arenosos, além de sua superioridade em termos de sobrevivência (94%).

Também para as condições de solos argilosos da região do Rio Jari, resultados obtidos aos 38 meses de idade evidenciaram o bom desempenho de *E. tereticornis* procedente de Kenedy River-NW of Laura/QLD e de Cooktown-Palmer River/QLD, com incrementos da ordem de 24,9 m^3 / ha^{-1} ano^{-1} e sobrevivência entre 96% e 98%, respectivamente. Nessas mesmas condições e idade, também ficou ressaltado o crescimento de *E. pellita* procedente de NE of Coen-QLD, com um incremento de 24,1 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e sobrevivência de 83%.

Ainda resultante da pesquisa realizada pela Embrapa Amazonia Oriental e parcerias, ensaios de procedências e progênies instalados na região do Rio Jari (Monte Dourado, PA), a partir de material obtido de áreas produtoras de sementes melhoradas da Embrapa, ressaltaram também o crescimento de *E. camaldulensis* e de *E. pellita*. *E. camaldulensis* mostrou maior crescimento em altura nos solos arenosos quando comparados aos solos argilosos. A procedência Brasilândia (ex-E. of Petford-QLD) dessa espécie, crescendo em solos arenosos, apresentou um incremento médio de 24,5 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ e sobrevivência média de 98%, contra um incremento médio de 21,1 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ e sobrevivência média de 97,4% observados nos solos argilosos. *E. camaldulensis* procedente de Morada Nova-MG (ex-Dimbulah-QLD), crescendo em solos arenosos ou argilosos e com idade de 38 meses, apresentou comportamento idêntico ao da procedência Brasilândia-MG, em termos de incremento médio anual e sobrevivência para a média de progênies. Porém, se comparadas com as melhores progênies de cada uma dessas procedências, houve uma superioridade do material de Morada Nova, MG sobre o de Brasilândia, MG, em termos de incremento médio anual para volume de madeira produzida, tanto crescendo em solos arenosos (12,82%) como em solos argilosos (7,72%).

E. pellita, por sua vez, mostrou comportamento oposto ao de *E. camaldulensis*, com relação ao tipo de solo. A procedência de Brasilândia, MG (ex-NE of Coen-QLD) de *E. pellita* crescendo em solos argilosos, aos 36 meses de idade, mostrou um incremento médio de 25,4 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, para a média de progênies e sobrevivência média de 95%, enquanto que seu incremento médio em solos arenosos foi da ordem de 22,1 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ e sobrevivência média de 96%. Nos solos argilosos, porém, foi que se observou valores maiores para incremento médio em volume de madeira, para as melhores progênies testadas de *E. pellita*.

Resultados de ensaios de seleção de espécies conduzidos pela Embrapa Rondônia, em áreas de Cerrados do Amapá, indicaram também a potencialidade de *E. camaldulensis* e *E. tereticornis,* ambas procedentes de Áreas de Coleta de Sementes pertencentes à Embrapa, em Brasilândia, MG. Aos quatro anos de idade, *E. camaldulensis* (ex-Petford-QLD) apresentou crescimento anual em altura de 3,0 m, com sobrevivência média de 98%. *E. tereticornis* (ex- Kennedy River-QLD e ex-Cooktown-QLD) cresceu a uma taxa média anual de 2,9 m e 2,8 m, respectivamente, com 100% de sobrevivência de plantas, naquela mesma idade.

Em Porto Velho, RO, ensaios de seleção de espécies e procedências de *Eucalyptus*, também conduzidos pela Embrapa Rondônia, mostraram os seguintes resultados, aos 90 meses de idade: *E. tereticornis* procedente de Brasilândia, MG (ex-Cooktown--QLD), crescendo em Latossolo Amarelo de baixa fertilidade e no espaçamento 3 m x 2 m, mostrou o melhor desempenho dentre as espécies/procedências testadas, com incrementos médios anuais de 2,4 m e 21,4 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, respectivamente, para altura e volume de madeira, e sobrevivência média de 90%. Nessas mesmas condições,

E. camaldulensis (ex-E. Petford-QLD) e *E. pellita* (ex-S.Helenvale-QLD), ambos procedentes de Brasilândia, MG, também apresentaram boa sobrevivência de plantas (acima de 80%) e seus incrementos médios anuais para volume de madeira foram 15% inferiores àquele mostrado por *E. tereticornis*.

Resultados de testes de progênies, também instalados em Porto Velho, RO e conduzidos pela Embrapa Rondônia, no espaçamento 3 m x 2 m, com aplicação de 100 g de fertilizantes NPK (10-34-6) mais boro (2 g) e zinco (2 g) no plantio, ressaltaram o crescimento de *E. tereticornis* (ex-Dimbulah-QLD) e *E. camaldulensis* (ex-Gibb River-WA-Austrália), ambos procedentes de Morada Nova, MG. Aos 60 meses de idade, as melhores progênies dessas espécies/procedências mostraram um incremento médio anual de 3,0 m e 4,0 m, respectivamente, para altura de plantas, com 100% de sobrevivência.

Em Guajará-Mirim, RO, em Latossolo Amarelo de baixa fertilidade, *E. tereticornis* (ex-NW of Laura-QLD) e *E. camaldulensis* (ex-Petford-QLD), ambos procedentes de Brasilândia, MG, com sobrevivência média de 70%, cresceram a uma taxa média anual de 2,4 m de altura, aos 72 meses de idade. Em Vilhena, RO, crescendo em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura pesada e no espaçamento 3 m x 2 m, *E. camaldulensis* procedente de Brasilândia, MG (ex-Petford-QLD) mostrou um incremento médio anual de 1,9 m para altura de plantas e sobrevivência média de 84%, aos 72 meses de idade.

Região Centro-Oeste

A rede experimental do Prodepef também concentrou esforços na avaliação e seleção de espécies e procedências de sementes de eucaliptos à região dos Cerrados. Os resultados permitiram ainda determinar outras características de importância à silvicultura dessas espécies, tais como a produtividade em função da qualidade do sítio, a quantidade de casca produzida, o fator de empilhamento de madeira e a projeção de curvas de crescimento para *E. grandis, E. saligna, E. urophylla, E. camaldulensis, E. tereticornis, E. pellita, E. propinqua, E. pilularis, E. microcorys, Corymbia torelliana, C. maculata e C. citriodora.* A capacidade de rebrota e o enraizamento de estacas para espécies e procedências de eucaliptos potenciais ao uso energético, introduzidos na região dos Cerrados, Zona da Mata de Minas Gerais e Mata Atlântica, foram objeto de pesquisas realizadas pela Embrapa Cerrados. Para espécies destinadas à produção de energia, foram realizados estudos sobre as principais características que influenciam a qualidade do produto final, tal como a massa especifica básica da madeira e outras de interesse. Com base nos resultados do rendimento de carvão e de correlações entre parâmetros de carbonização da madeira para as espécies estudadas, foram estabelecidos critérios visando a seleção de árvores para as características desejáveis do produto final.

Os resultados da pesquisa conduzida pela Embrapa Cerrados mostraram que o comportamento de espécies e procedências de eucaliptos nos Cerrados foi bastante variável, conforme as condições edafoclimáticas e de acordo com a origem do material genético, apresentando produtividade média anual de madeira variando de 15 m^3 ha^{-1} a 60 m^3 ha^{-1}. O melhor desempenho de *E. pilularis* no Cerrado foi observado a 1.000 m de altitude, sendo que a espécie apresentou problemas fitossanitários e de ordem fisiológica em altitudes inferiores. *E. grandis* desenvolveu-se melhor em áreas sem deficiência hídrica, principalmente as procedências australianas de Atherton-Queensland, as mais indicadas para a região. Entretanto, apesar de terem apresentado as maiores taxas de crescimento até os sete anos de idade, após este período foram acometidas de distúrbios fisiológicos, ocasionando a morte de um grande número de plantas adultas. *E. urophylla* foi a espécie de maior estabilidade genética entre as testadas, destacando-se em crescimento em todos os locais testados nos Cerrados. O melhor material foi aquele procedente de Flores (Indonésia) e de regiões entre 600 m e 1.500 m de altitude em Timor. *E. camaldulensis* mostrou potencial de crescimento inferior ao de *E. grandis, E. pilularis* e *E. urophylla*, em áreas mais propícias para essas espécies. Procedências de Petford-Queensland suplantaram outros materiais, principalmente em áreas com solos de baixa fertilidade e com maior deficiência hídrica. *E. tereticornis* apresentou uma grande variação de crescimento, em função da origem do material testado. Procedências australianas de Cooktown-Queensland apresentaram crescimento e forma superiores às demais procedências desta espécie indicada para o plantio em regiões mais quentes do Cerrado. C. *citriodora*, apesar da grande heterogeneidade de crescimento, também pode ser considerada uma espécie potencial para o Cerrado.

Estudos abrangendo 37 procedências de 13 espécies australianas de eucaliptos, com 6,5 anos de idade, foram avaliados pela Embrapa Cerrados nas localidades de Água Clara e Ribas do Rio Pardo, no Mato Grosso do Sul. Em ambos os locais, as seguintes espécies e procedências apresentaram bons resultados: *E. tereticornis* (Cooktown-Queensland); *E. brassiana* (Cape York-QLD); *E. urophylla* (Flores-Indonésia e N. Aileu-Timor); *E. camaldulensis* (Ferguson River-Nothern Territory e E. Petford-Queensland). Em Ribas do Rio Pardo, *E. grandis* (Bellthorpe-Queensland); *E. cloeziana* (N. Paluma-Queensland); e *E. saligna* (Bellthorpe-Queensland) apresentaram melhor desempenho em crescimento, enquanto que, em Água Clara, *E. grandis* (Coff's Harbour-New South Wales); *E. brassiana* (Laura-Queensland); e *E. cloeziana* (Atherton District-Queensland), apresentaram os melhores resultados.

O estabelecimento de populações base de eucaliptos, com vistas aos programas de melhoramento e conservação genética do gênero, foi uma preocupação constante para a região dos Cerrados. Em 1980, por meio da cooperação com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef), o PNPF obteve material genético de *E. urophylla* pertencente à coleta de sementes realizada em 1977, pela Vale S.A. (ex-Florestas Rio Doce S.A e ex-Cia Vale do Rio Doce S.A.), englobando procedências (9) e progênies (63)

de polinização livre, oriundas das ilhas de Timor, Flores, Lomblem, Pantar, Adonara e Alor, na Indonésia. Valores obtidos de coeficientes de herdabilidade para parâmetros de crescimento desses materiais, avaliados em idades precoces, indicaram boas perspectivas de ganhos genéticos por meio da seleção, conferindo-lhes potencialidade aos programas de melhoramento para a região Centro-Oeste, principalmente em termos de fonte de material para a produção de híbridos interespecíficos. As progênies procedentes da Ilha Flores de baixas altitudes apresentaram crescimentos em altura e DAP superiores ao do tratamento controle (Salesópolis, SP) e das demais procedências desta e demais ilhas testadas, aos três anos de idade. As melhores procedências de sementes, em ordem decrescente, foram Ilegele, Egon I, Ara Detung e Monte Lewotobi. As procedências Egon, Ilegele e Monte Lewotobi da ilha Flores também apresentaram melhor desempenho em Linhares, ES, Belo Oriente, MG e Anhembi, SP.

Nos Cerrados do Distrito Federal, *E. brassiana* apresentou desempenho inferior ao encontrado para outras espécies de eucaliptos. Entretanto, em região de transição Cerrado-Caatinga, esta espécie apresentou comportamento similar ou superior às outras espécies de eucaliptos testadas e, por isso, mais indicada para as condições semiáridas. A avaliação do comportamento de quatro procedências de *E. brassiana* em Planaltina, DF, em teste conduzido pela Embrapa Cerrados, realizada aos 13 anos de idade, ressaltou maior destaque para a procedência australiana do Noroeste de Laura-Queensland, que apresentou altura média de 13,6 m, volume de 117 $m^3 ha^{-1}$ e melhor forma do fuste que as demais procedências testadas.

Pertencentes à rede experimental de melhoramento genético de eucaliptos coordenada pela Embrapa Florestas, populações base de *E. cloeziana* (110 progênies/4 procedências); *E. tereticornis* (55/2); *E. camaldulensis* (144/11) e *C. maculata* (42/2) foram estabelecidas pelo PNPF, em Três Lagoas, MS, em 1987, na forma de testes conjugados de progênies e procedências, em parceria com a Companhia Energética de São Paulo-CESP. Os materiais introduzidos na região constituíram-se em importantes fontes de propágulos para a produção de sementes melhoradas e à conservação genética de espécies potenciais de eucaliptos.

O programa de conservação genética de *Eucalyptus* e *Corymbia* para a região Centro-Oeste, coordenado também pela Embrapa Florestas, contemplou principalmente as espécies: *E. tereticornis, E. pilularis, E. saligna*, *C. maculata* e *E. camaldulensis.* Bancos dessas espécies foram estabelecidos em 1987, no Mato Grosso do Sul, em Três Lagoas (exceto *E. camaldulensis e E. saligna*), Ribas do Rio Pardo (exceto *E. pilularis* e *C. maculata*) e Selvíria (apenas *E. camaldulensis*), em parceria com a Companhia Energética de São Paulo (CESP) e a empresa florestal Eldorado.

Regiões Sul e Sudeste

Para atender as demandas da pesquisa florestal principalmente nos estados da Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a Embrapa criou, em março de 1978, a Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (URPFCS), que passou a ocupar as instalações físicas do ex-Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária Meridional (Ipeame), situado no município de Colombo, PR. Durante a sua existência, a URPFCS subordinou-se administrativamente aos Departamentos Centrais e à Diretoria Executiva da Embrapa. Sua estrutura organizacional pode ser vista no organograma apresentado por Embrapa (1983).

O programa de pesquisa florestal da URPFCS, inicialmente, estruturou-se em um único e grande projeto, com quatro subprojetos componentes. No período de 1979 a 1982, com a participação de 38 instituições parceiras, cerca de 175 ensaios de campo foram conduzidos pela URPFCS, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo e Bahia.

Parte da experimentação conduzida pela URPFCS originou-se também da rede já instalada, referente ao Prodepef, a partir do convênio estabelecido entre o ex-Instituto Brasileiro de desenvolvimento Florestal (IBDF) e a FAO. A contribuição da URPFCS ao setor florestal decorreu não só dos resultados gerados pela experimentação já existente, que propiciaram tecnologias de interesse ao cultivo de espécies florestais de importância econômica, mas também de ações interinstitucionais promovidas à consolidação de informações técnicas dispersas e, principalmente, para a formação de parcerias com os produtores rurais.

Como resultados mais expressivos com eucalipto na pesquisa conduzida pela URPFCS e instituições parceiras, destacam-se a introdução, seleção e avaliação de espécies e procedências de eucaliptos para a produção de madeira para produção de energia ou celulose, tanto para a região Sul como ao Triângulo Mineiro, que proporcionaram ganhos de produtividade superiores a 40% para volume de madeira, atingindo acréscimos anuais de 16 m^3 ha^{-1} a 20 m^3 ha^{-1}.

Durante as décadas de 1980 e 1990, a procura por informações e sementes de espécies de eucalipto para a região Sul do Brasil aumentou acentuadamente, resultante da crescente demanda de madeira para energia. Nesse período, buscando o aperfeiçoamento dos trabalhos relacionados com o zoneamento econômico-ecológico, indicação de espécies alternativas para plantios em diferentes locais e produção de sementes, a URPFCS implementou sua rede experimental com o objetivo de identificar espécies alternativas de eucaliptos, principalmente para áreas com riscos de geadas. Resultados dessa experimentação instalada no Paraná apontaram para outras espécies alternativas de eucaliptos, em relação àquela tradicionalmente utilizada no Sul do Brasil (*Eucalyptus viminalis* Labill.), tais como o híbrido "cambijú", *E. dunnii* procedentes

de Urbenville e de Dorrigo-New South Wales-Austrália e *E. benthamii* procedente de Wentworth Falls-New South Wales-Austrália. As espécies *E. viminalis*, *E. saligna*, *E. deane*i Deane, *E. badjensis* Beuzev. & Welch, *E. smithii* (R. T. Baker) F. Muell. e *E. macarthurii* H. Deane & Maiden integraram o grupo e receberam atenção especial da pesquisa da Embrapa, devido ao seu potencial para esse tipo de clima, principalmente aos estudos de seleção de melhores procedências e progênies.

Para as regiões sujeitas às geadas, no Sul do Brasil, os ganhos alcançados pelo programa de melhoramento conduzido pela URPFCS, por meio da seleção das melhores procedências de sementes de *Eucalyptus dunnii*, por exemplo, elevaram a produtividade em até 50 m^3 ha^{-1}ano, nos sítios de melhor qualidade, permitindo ainda uma redução aproximada de 33% no custo de produção da madeira em pé, comparativamente à produtividade média obtida por materiais comerciais de outras espécies de eucaliptos disponíveis à região.

No Triângulo Mineiro, procedências de *E. grandis* e *E. saligna*, selecionadas para a produção de madeira para energia, apresentaram crescimento mais rápido e maior produtividade em temos de quilocalorias por hectare plantado, apesar de propiciarem madeira de menor massa especifica básica e menor poder calorífico. Esses materiais selecionados produziram em torno de 900 milhões de kcal ha^{-1}, enquanto as espécies *E. camaldulensis* e C. *citriodora*, apesar de produzirem madeira de maior massa especifica básica, apresentavam menor incremento volumétrico, resultando em produtividade energética abaixo de 600 milhões de kcal ha^{-1}.

Estudos realizados com o apoio da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais-Epamig, em áreas climáticas variando de subúmidas a secas (transição Cerrado-Caatinga) permitiram indicar as melhores procedências de sementes de *E. tereticornis, E. camaldulensis, E. urophylla e E. brassiana*.

A estrutura e evolução da pesquisa desenvolvida pela Embrapa Florestas

Nas décadas de 1980 e 1990 ocorreram importantes fatos políticos, econômicos e ambientais que influenciaram o setor florestal brasileiro. A partir dos anos 1980, houve uma grande mudança, podendo considerá-la a segunda grande revolução do setor florestal. As funções ecológicas e ambientais dos recursos florestais sobrepuseram-se à visão predominantemente utilitária das florestas como fontes de produção de madeira, passando a serem as promotoras de outros bens e serviços que não só a madeira.

Com a promulgação da Constituição Federal de 1988, os Estados e Municípios passaram a ter a competência de legislar sobre os recursos florestais, deixando de ser atribuição apenas do Governo Federal. Outros eventos consequentes ocorridos

em 1988 foram a extinção do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal-IBDF e da legislação que concedia incentivos fiscais aos reflorestamentos, juntamente com a criação do Ibama, que passou a responder pelas atribuições do extinto IBDF. Neste período, o País passou por momentos de intensa expressão social, com a presença marcante de um movimento ambientalista que denunciava os impactos ambientais negativos do "desenvolvimento a qualquer custo". Este movimento, em seguida, deixou de ser exclusivamente de denúncia, para agir em diversos setores, influenciando um processo de institucionalização de projetos específicos de conservação, proteção e restauração florestal dos diversos ecossistemas brasileiros. Foi ainda na década de 1980 que surgiram as primeiras preocupações com os efeitos da mudança climática global, resultando na criação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas, organização responsável pela avaliação das evidências da mudança climática global perante a ONU. A partir dos resultados e recomendações da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (United Nations Conference on Environment and Development - UNCED), mais conhecida como "Eco-92" ou "Rio-92", realizada no Brasil, o tema florestal passou a ser uma prioridade na agenda internacional. Em 1995 foi estabelecida a Força-Tarefa Interagência de Florestas (Inter-Agency Task Force on Forests - ITFF), para coordenar os "*inputs*" das organizações internacionais relacionados às suas respectivas políticas florestais, para avançar com propostas de políticas de proteção dos recursos florestais e estimular a elaboração ou implementação de programas nacionais de florestas e, ou planos para o manejo, conservação e desenvolvimento sustentável dos recursos florestais. As agências internacionais foram conclamadas para cooperarem com os países em desenvolvimento, na elaboração de seus respectivos programas nacionais de floresta. No final da década de 1990, com a colaboração determinante da FAO, o Brasil estabeleceu o Programa Nacional de Florestas (PNF), visando articular as políticas públicas setoriais necessárias ao desenvolvimento sustentável, conciliando o uso com a conservação das florestas brasileiras, no âmbito do MMA.

A demanda crescente de pesquisa e desenvolvimento ao setor florestal e a evolução do Programa Nacional de Pesquisa de Florestas (PNPF) da Embrapa determinaram a transformação da Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (URPFCS), sediada no município de Colombo, PR, no Centro Nacional de Pesquisa de florestas - CNPF (Embrapa Florestas), em outubro de 1984. A pesquisa florestal na Embrapa conseguiu, assim, um maior impulso e abrangência geográfica nacional a partir da criação do CNPF. Baseando-se nas metas governamentais e nos grandes problemas florestais brasileiros, os principais objetivos da pesquisa do CNPF, inicialmente, foram: (i) o aumento da produtividade econômica das florestas plantadas; (ii) a melhoria da qualidade da madeira e de seus subprodutos; (iii) o desenvolvimento de técnicas silviculturais e afins como alternativa de utilização da terra, e (iv) incrementação do uso da madeira como fonte de energia, por meio do desenvolvimento de

tecnologias apropriadas. Todos esses fatos contribuíram significativamente aos necessários ajustes dos programas de pesquisa e desenvolvimento florestal do País, inclusive os da Embrapa Florestas, conforme constam de seus Planos Diretores Plurianuais (Embrapa, 1987b, 1991, 1994; Embrapa Florestas, 2000, 2008, 2011).

O número de parcerias realizadas com instituições do sistema cooperativo do PNPF aumentou significativamente, passando de 18 para 97, no período de 1979 a 1984, com destaque para a participação das empresas florestais privadas que aumentou mais de 700% no mesmo período. A cooperação das empresas florestais privadas e de outras instituições ligadas à pesquisa possibilitou a redução significativa dos investimentos da Embrapa, em terras e recursos financeiros necessários à instalação e manutenção da experimentação florestal. Na busca de soluções aos problemas comuns, as instituições parceiras vêm recebendo os benefícios diretos desse trabalho desenvolvido conjuntamente com a Embrapa, ao longo desses anos.

A equipe multidisciplinar de pesquisadores da Embrapa Florestas praticamente foi duplicada, no período de 1979 (14) a 1984 (27), para o cumprimento das metas do PNPF. Para o atendimento das demandas de pesquisas das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, a Embrapa Florestas também contou com a participação efetiva das equipes multidisciplinares de pesquisadores do PNPF daquelas regiões, que foi ampliada de 21 para 32 pesquisadores, no período considerado Embrapa (1984).

Dados do terceiro levantamento da pesquisa florestal em andamento no Brasil (Embrapa, 1987a) mostraram que a rede experimental do PNPF representava cerca de 35% de todo o esforço de pesquisa florestal realizada no País, com um total de 597 experimentos estabelecidos em 22 Estados brasileiros e com a imprescindível participação de 246 empresas públicas e privadas do setor florestal brasileiro (Pinto Júnior; Ferreira, 2008). Do total da rede do PNPF, coube ao CNPF conduzir aproximadamente 30% dos experimentos, que abrangeram vinte Estados da União. Os resultados obtidos dessa rede experimental foram de suma importância ao progresso da silvicultura brasileira, subsidiando ainda o planejamento da pesquisa, no longo prazo.

Uma avaliação econômica das principais contribuições quantificáveis geradas pela Embrapa Florestas, no período de 1978 a 1987, foi realizada a partir de estimativas de uso de cada informação tecnológica, face à inexistência de dados precisos quanto à utilização efetiva pelo setor produtivo naquele período. Os benefícios gerados, representados pelas 26 mais importantes informações tecnológicas geradas pela Embrapa Florestas e instituições parceiras e disponibilizadas ao setor florestal, equivaleram a USD$ 33,74 milhões (valores baseados em junho de 1987), montante que representou 22 vezes o total de investimentos médios anuais (despesas com pessoal, custeios, investimentos e obras) alocados à Embrapa Florestas. Os resultados detalhados dessa avaliação são fornecidos no trabalho de Hoeflich et al. (1988).

O desempenho até aqui realizado pela Embrapa Florestas foi possível graças aos recursos financeiros recebidos do Tesouro Nacional e do apoio das diversas

instituições parceiras nacionais e internacionais, para o cumprimento de suas metas de pesquisa. Destaque especial merece ser dado ao convênio estabelecido com o Programa de Desenvolvimento da Pesquisa Agropecuária na Região Centro-Sul do Brasil (Procensul II), parcialmente financiado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), com vigência entre 1985 e 1990, o que garantiu a realização de construções civis e reformas de edificações da Embrapa Florestas, aquisição de veículos, máquinas, implementos e outros diversos insumos agrícolas, além de mobiliários de escritório, equipamentos, materiais de laboratório, contratação de consultorias nacionais e internacionais, e especialização de pesquisadores no Brasil e no exterior. No período considerado, tais recursos somaram USD$ 3,31 milhões (valores baseados em dezembro de 1989), permitindo ainda a execução de 61 projetos de pesquisa florestal na região Centro-Sul do Brasil. Igualmente importantes foram os recursos alocados à Embrapa pelo III Projeto de Pesquisa Agropecuária, financiado parcialmente pelo Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento BIRD (Banco Mundial), cujo contrato perdurou no período de 1989 a 1993, privilegiando as regiões Nordeste, Amazônia Legal e Pantanal, para a geração de tecnologias acessíveis aos pequenos e médios proprietários rurais locais. A execução do projeto ficou ao encargo da Embrapa, incluindo 23 UD destas regiões. As atividades de pesquisa relacionadas à conservação de recursos genéticos florestais foram realizadas pela Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Amapá; Embrapa Rondônia e Embrapa Acre, com o apoio da Embrapa Florestas/PNPF, que coordenou o respectivo projeto. Principalmente a partir de 1995, deve-se também registrar o aporte financeiro recebido do Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil (Prodetab), financiado pelo Banco Interamericano para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD); Programa de Modernização Agropecuária Regiões Centro-Oeste e Sul (Promoagro) e do Programa de Inovação Tecnológia e Novas Formas de Gestão da Pesquisa Agropecuária (Agrofuturo), financiados pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Também importantes foram os aportes financeiros diretos e complementares recebidos de: (i) Programa de Aceleração do Crescimento (PAC/TN); (ii) Secretaria de Desenvolvimento Rural (SDR)/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); (iii) Programa Fome Zero (PFZ)/ Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS); (iv) Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (CETI)/PR-Governo do Estado do Paraná; (v) Secretaria de Produção e Agroenergia (SPA)/Mapa; (vi) Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA)/Ministério do Meio Ambiente (MMA); (vii) Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica (CNPq); (viii) Fundo de Financiamento de Estudos e Programas (Finep)/Inovação e Tecnologia/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI); (ix) Departamento de Gestão Ambiental e Territorial da Vale S.A. As receitas indiretas também foram indispensáveis ao desenvolvimento de projetos de P&D, aquisição de máquinas e equipamentos, material de consumo,

pagamento de diárias e estadias, bolsas de estudos e outros tipos de despesas, advindas da colaboração de mais de uma centena de instituições nacionais (Anexo 2). Menção especial cabe à Câmara dos Deputados e ao Senado (Poder Legislativo) que, em diversas ocasiões, aprovaram emendas parlamentares para a suplementação de recursos financeiros à Embrapa. Novamente, ressalta-se a importância do constante apoio recebido das empresas florestais privadas e públicas, instituições públicas e privadas, e demais parceiros que gentilmente têm abrigado e mantido em suas propriedades, parte importante da rede experimental coordenada pela Embrapa Florestas, poupando-lhe significativos recursos financeiros.

Coleta de sementes na Austrália, de *Eucalyptus* e *Corymbia*, para melhoramento e conservação genética

Instituições e empresas privadas brasileiras envidaram esforços para a coleta de material genético, porém privilegiando espécies de maior interesse comercial às suas necessidades específicas. O Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef) e algumas empresas florestais privadas obtiveram diretamente ou coletaram sementes de várias populações de eucalipto de interesse ao setor florestal brasileiro, nas áreas de ocorrência natural desses gêneros, a partir de meados da década de 1970. Entretanto, coube à Embrapa um dos maiores esforços e o mais completo trabalho para a obtenção de material com base genética ampla de eucaliptos e corímbias, de interesse nacional, que propiciou a primeira coleta de sementes de eucalipto na Austrália, promovida pelo setor público brasileiro. Nessa época, a indisponibilidade de sementes no mercado brasileiro, principalmente de material genético adequado a esses programas, era um grande obstáculo ao aumento da produtividade e qualidade das florestas de eucaliptos.

Com a premente necessidade de disponibilizar e ampliar as fontes comerciais de sementes florestais no Brasil, no início da década de 1980, representantes do setor florestal privado, universidades, instituições públicas e privadas de pesquisa e demais órgãos relacionados ao setor florestal reuniram-se (22) e decidiram coletar, na Austrália, sementes de diversas espécies e procedências de *Eucalyptu*s e *Corymbia*, com base genética apropriada aos programas de melhoramento e conservação genética, para as diversas regiões brasileiras. Para tanto, foi elaborado um Projeto de Desenvolvimento e estabelecido um contrato de cooperação técnica entre a Embrapa e The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), com o apoio financeiro do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD).

A amostragem das populações naturais de *Eucalyptus* e *Corymbia* na Austrália foi realizada partindo das seguintes premissas: (a) para testes de procedências, normalmente recomendada a coleta de sementes de, no mínimo, 25 matrizes por procedência e que elas estivessem distanciadas entre si, pelo menos, 100 m; (b) as sementes seriam

coletadas dentro do período ótimo de maturação, acondicionadas em recipientes adequados, individualmente por matriz. A etiqueta de identificação, em cada recipiente, deveria apresentar todas as informações quanto à localização e data de coleta. Essas informações acompanhariam as sementes durante todo o processo de extração, beneficiamento, armazenamento e utilização (Shimizu et al., 1982).

A coleta de sementes na Austrália, realizada no período de 1983 a 1984 pelo engenheiro florestal Roberto Alonso Silveira, assistido pela sua esposa Liliam Torres Silveira e pelo engenheiro florestal Philippe Whiteman (CSIRO-Austrália) (Figura 1) foi executada nos estados australianos de Victoria (VIC), Nova Gales do Sul (NSW), Queensland (QLD), Território do Norte (NT) e Austrália Ocidental (WA).

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 1. Equipe de coleta de sementes de eucalipto na Austrália (da direita para a esquerda): Roberto Alonso Silveira, Liliam Torres Silveira e Philippe Whiteman.

Para o acesso às cápsulas com sementes nas populações naturais de eucaliptos, utilizou-se um rifle, com o qual os galhos foram derrubados (Figuras 2 e 3). Após a queda dos galhos, foram separadas as cápsulas lenhosas dos ramos com auxílio de uma tesoura de poda sobre uma lona (Figura 4). Posteriormente, as lonas contendo os frutos lenhosos foram expostas ao sol, para secagem, possibilitando a retirada das sementes (Figura 5).

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 2. Uso de rifle na coleta de sementes de eucalipto, na Austrália.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 3. Projétil de rifle utilizado na coleta de sementes de eucalipto, na Austrália.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 4. Galhos de eucalipto derrubados para a coleta de sementes, na Austrália.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 5. Lonas contendo os frutos lenhosos de eucalipto, expostas ao sol, para secagem e extração de sementes.

Cada árvore coletada foi numerada e fotografada. Mediu-se o seu diâmetro a 1,30 m de altura (DAP) e foram descritas as condições edafoclimáticas de cada procedência (Figuras 6 a 9). Exsicatas de folhas, flores e frutos também foram feitas de cada árvore amostrada, sendo armazenadas no Australian Tree Seed Center - CSIRO, em Camberra. Foi realizado teste de germinação com sementes de cada árvore amostrada, no Tree Seed Center, em Camberra. de posse dos resultados desses testes, foram feitos os despachos das sementes ao Brasil, objetivando a formação de populações básicas para o melhoramento e à conservação genética.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 6. Registro de dados dendrométricos das árvores matrizes de eucalipto da coleta de sementes na Austrália.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 7. Identificação e coleta de dados gerais das árvores matrizes de eucalipto amostradas na Austrália.

Foto: arquivo Embrapa Florestas

Figura 8. Material utilizado na coleta de sementes na Austrália. No sentido horário, a partir do canto superior esquerdo: prensa para secagem de material botânico (exsicata); saco menor com sementes já extraídas das cápsulas; saco intermediário com as cápsulas; saco maior com cápsulas, ramos e folhas; serra e tesouras de poda; corda com contrapeso para a derrubada de galhos; corda com contrapeso para a derrubada de galhos enroscados; peneira grossa para a separação das sementes das cápsulas; corda com serra flexível para o corte de galhos mais baixos; peneira fina para a separação das sementes das impurezas; luva.

Nota: rifle e escada não estão representados nesta figura, mas fazem parte do material de coleta.

Foto: Roberto Alonso Silveira

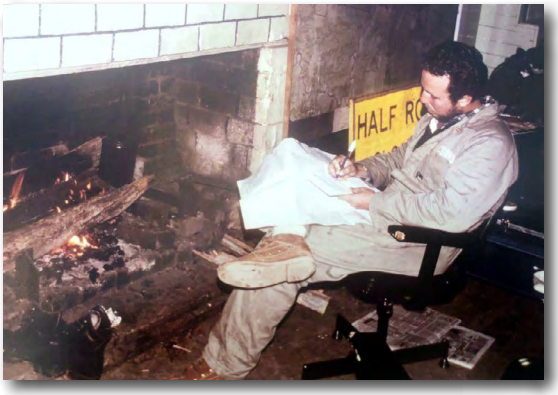


Figura 9. Planejamento da coleta de sementes de eucalipto do dia seguinte.

As Figuras de 10 a 20 ilustram aspectos gerais envolvidos na coleta de sementes.

O material coletado das 1.050 árvores amostradas resultou em 148 kg de sementes de 56 procedências de 11 espécies (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. pellita*, *E. tereticonis*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana*, *E. pilularis*, *E. viminalis*, *E. deanei*, *E. resinifera* e *Corymbia maculata*) (Tabela 1).

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 10. Café da manhã no acampamento, antes de começar a coleta de sementes de *E. grandis*, em Atherton-Queensland, Austrália. 1983.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 11. Descanso após várias horas coletando sementes de *E. saligna* em Blackdown Tableland-Queensland, Austrália, 1983.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 12. Em alguns locais de coleta, o único meio de acesso era a canoa ou a nado. Roberto Alonso Silveira. Victoria River, Timber Creek Township-Território do Norte, Austrália, 1984.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 13. Preparo para a travessia a nado de rio australiano para acessar importante população de *Eucalyptus* na Austrália.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 14. População natural de *E. camaldulensis* no Território do Norte, Austrália, 1984.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 15. Estrada de rodagem ladeada por florestas naturais de *Eucalyptus* spp. em Nova Gales do Sul, Austrália, 1984.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 16. Belo espécimen de *E. saligna* com sub-bosque de árvore-grama (*Xanthorrhoea australis*), Urbenville, Nova Gales do Sul, Austrália, 1983.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 17. População natural de *Corymbia maculata* (casca manchada) associada a *E. moluccana* (casca rugosa escura) com sub-bosque apresentando *Xanthorrhoea australis* (árvore-grama) e *Dicksonia antarctica* (samabaiaçu) Woondun St. Forest, Gympie, Nova Gales do Sul, Austrália, 1983.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 18. Floresta natural de *E. grandis* (casca branca lisa) associada a *E. resinifera* (casca rugosa escura), Mareeba, Queensland, Austrália, 1983.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 19. Floresta natural de *E. grandis* (casca branca lisa) associada a *E. resinifera* (casca escura rugosa), Atherton, Queensland, Austrália, 1983.

Foto: Roberto Alonso Silveira

Figura 20. Floresta nativa de *E. saligna* (casca lisa clara) associada a *E.pilularis* (casca rugosa). Observam-se samambaias australianas (*Platycerium bifurcatum*) nos galhos de *E. pilularis*, Queensland, Austrália, 1983.

Tabela 1. Informações sobre as espécies e procedências de *Eucalyptus* e *Corymbia* coletadas na Austrália, no período de 1983 a 1984.

Espécie	Lote de sementes	Procedência	Número árvores	Lat. (°S)	Long. (°E)	Alt. (m)
E. camaldulensis	14513	Victoria River, Timber Creek Township-NT	20	15°37'	130°28'	20
	14514	Order River-WA	25	17°30'	127°57'	260
	14515	W of Mary River Crossing-WA	10	18°44'	126°48'	270
	14516	Newcastle Waters-NT	10	17°28'	133°25'	200
	14517	Nott's Crossing, Katherine-NT	25	14°26'	132°18'	95
	14518	Tennant Creek Township-NT	10	19°34'	134°13'	335
	14529	Dunham River-WA	10	16°09'	128°23	90
	14530	15 Km S of Wyndham-WA	8	15°31'	128°12'	5
	14536	Yeeda St., Fitzroy River-WA	31	17°40'	123°36'	15
	14537	Isdell River-WA	10	16°56'	125°35'	315
	14538	Meda St., May River-WA	11	17°22'	124°01'	10
	14539	Durack River-WA	10	15°56'	127°13'	270
	14540	Pentecost River-WA	10	15°48'	127°53'	10
	14541	Gibb River Crossing-WA	24	16°06'	126°31'	420
E. cloeziana	14209	5-12 Km S of Helenvale-QLD	10	15°45'	145°15'	400-500
	14236	10-25 Km W of Herberton-QLD	25	17°20'	145°00'	800
	14422	12 Km SSW of Cardwell-QLD	25	18°22'	146°03'	30-200
	14425	Woondum St. Forest, Gympie-QLD	25	26°18'	152°48'	100
	14427	Blackdown Tableland-QLD	25	23°48'	149°01'	750
E. deanei	14521	Brother St. Forest, Glen Innes - NSW	10	29°48'	125°07'	950-1000
E. grandis	14210	27 Km SE of Ravenshoe-QLD	5	17°50'	145°33'	720-800
	14392	20 Km S of Atherton-QLD	15	17°25'	145°27'	900-1000
	14393	25-36 Km SE of Mareeba-QLD	11	17°06'	145°38'	900-1140
	14420	12 Km S of Ravenshoe, Mt. Pandanus-QLD	20	17°42'	145°28'	860-940
	14423	Baldy St. Forest 194, Atherton-QLD	25	17°18'	145°25'	1000-1200
	14431	Belthorpe St. Forest-QLD	25	26°52'	152°42'	500

Continua...

Tabela 1. Continuação....

Espécie	Lote de sementes	Procedência	Número árvores	Lat. (°S)	Long. (°E)	Alt. (m)
E. grandis	14436	Kenilworth St. Forest-QLD	23	26°44'	152°39'	600-700
	14509	Yabbra St. Forest, Urbenville-NSW	25	28°34'	152°34'	450-600
	14510	Wild Cattle Creek St. Forest, Dorrigo-NSW	26	30°13'	152°46'	640
	14519	Knorrit St. Forest, Mt. George, Taree-NSW	25	31°50'	152°01'	230
C. maculata[1]	14426	Woondum St. Forest, Gympie-QLD	25	26°18'	152°28'	100
	14434	Wondai St. Forest-QLD	25	26°25'	151°56'	400
E. pellita	14211	5-12 Km S of Helenvale-QLD	10	15°45'	145°15'	150-500
	14339	14,6 Km NE of Coen-QLD	18	13°53'	143°17'	560
E. pilularis	14430	Gallangowan St. Forest-QLD	25	26°28'	152°24'	600
	14433	Fraser Island-QLD	25	25°13'	153°12'	140
E. resinifera	14421	25-36 Km SW of Mareeba-QLD	25	17°06'	145°33'	900-1140
E. saligna	14429	Blackdown Tableland-QLD	25	23°50'	149°05'	810
	14432	Kroombit Tops-QLD	25	24°28'	151°00'	850
	14435	Kenilworth St. Forest -QLD	26	24°44'	152°39'	600-700
	14507	Chaelundi St. Forest, Dorrigo-NSW	25	30°03'	152°23'	980
	14508	Yabbra St. Forest, Urbenville-NSW	26	28°34	152°30'	600-650
	14524	Styx River St Forest, Armidale-NSW	26	30°39'	152°08'	880-1060
	14526	Brother St. Forest, Glen Innes-NSW	26	29°47'	152°09'	1030
	14527	Barrington Tops, Gloucester-NSW	26	31°52'	151°41'	450-750
E. tereticornis	13666	SW of Mt. Garnet-QLD	12	18°10'	144°48'	880
	14212	5-12 Km S of Helenvale-QLD	25	15°47'	145°15'	200-730
	14424	Ravenshoe-QLD	18	17°37'	145°21'	700
E. viminalis	14198	Cotter Flats-ACT	5	35°38'	148°50'	1100
	14199	43 Km S of Bombala-NSW	25	37°13'	149°18'	420
	14200	16 Km SW of Bendoc-VIC	25	37°15'	148°45'	720
	14201	14 Km SE of Bendoc-VIC	25	37°15'	148°58'	850
	14511	Stewarts Brook St. Forest, Barrington Tops-NSW	25	31°58'	151°23'	1300

Continua...

Tabela 1. Continuação....

Espécie	Lote de sementes	Procedência	Número árvores	Lat. (°S)	Long. (°E)	Alt. (m)
E. viminalis	14512	Canobolas St. Forest, Orange-NSW	25	33°24'	149°01'	850-1170
	14523	Nullo Mt. Mudgee-NSW	26	32°43'	152°13'	820-1100
	14525	Warung St. Forest, Coolah-NSW	25	31°45'	149°58'	1080
E. urophylla	14531	Mt. Egon, Flores-NTT	48	8°38'	122°27'	518
	14532	Mt. Lewotobi, Flores-NTT	30	8°31'	122°45'	398
-	-	58	1.128	-	-	-

ACT = Território da Capital Australiana; NT = Território do Norte; NSW = Nova Gales do Sul; QLD = Queensland; WA = Austrália Ocidental; VIC = Victoria. [1]CSIRO considera essas duas procedências como sendo *Corymbia citriodora* ssp. *variegata.*

Histórico da rede experimental de melhoramento e conservação genética de eucaliptos e corímbias da Embrapa

As orientações básicas iniciais ao programa de melhoramento de eucaliptos da Embrapa Florestas eram para o prosseguimento dos estudos de introdução e seleção de espécies e procedências já iniciados pelo Prodepef/ex-IBDF e a avaliação da respectiva rede experimental estabelecida. A partir desse levantamento e análise, somados à necessidade de ampliar a base genética das populações para melhoramento e conservação, surgiu a prioridade de novas introduções de procedências de sementes de outras espécies potenciais e com base genética adequada. Para tanto, uma equipe de coleta de sementes foi enviada à Austrália pela Embrapa, que amostrou 1.050 árvores de 56 procedências australianas de 11 espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* , além de duas procedências de *E. urophylla* coletadas na Indonésia e cedidas por CSIRO à Embrapa. Com o apoio de CSIRO e do Banco Mundial, no período de 1983 a 1984, a Embrapa promoveu a coleta de uma das mais completas coleções de germoplasma de espécies de *Eucalyptus e Corymbia* introduzidas no Brasil.

Esse material propiciou a instalação de uma ampla rede de melhoramento e conservação genética de eucaliptos e corímbias coordenada pela Embrapa Florestas (Higa et al., 1991, 1997), com um total de 247 Testes Combinados de Procedências e Progênies (TC) e Bancos de Conservação Genética (BC), implantados principalmente no período de 1985 a 1992, com a participação de 30 instituições parceiras entre empresas florestais privadas, instituições de pesquisa e universidades, abrangendo 64 municípios de nove Estados e ocupando uma área total de 609,30 ha.

Os TCs tiveram como propósito a seleção de árvores pelo valor genético e a transformação dos experimentos em Pomares de Sementes por Mudas (PSM), envolvendo somente as árvores de maior valor genético em cada ambiente. Com isso, avançou-se no melhoramento da produtividade e da qualidade, em cada local, ao mesmo tempo em que se manteve uma ampla base genética para futuras recombinações. Vários experimentos da rede foram submetidos a essa fase, tendo sido coletadas sementes das árvores selecionadas em cada experimento. Posteriormente, estas sementes foram destinadas à instalação de testes de progênies de gerações avançadas. Como fruto da participação na rede experimental, as instituições parceiras usufruíram dos materiais genéticos selecionados, tanto na forma de sementes quanto de propágulos vegetativos para implementação de seus próprios programas de melhoramento florestal (Shimizu, 2001).

Cada TC constituiu-se de um número variado de procedências e famílias dentro de cada procedência. O plantio no campo seguiu o delineamento de blocos de famílias compactadas (hierárquico), com seis plantas por parcela, dez repetições e no espaçamento de 3 m x 2 m. Os TCs ocuparam uma área de 370,47 ha. A partir do sexto ano de idade, foram selecionadas 60 árvores em cada TC, com base em valores genéticos,

avaliadas aos cinco anos de idade. Após a identificação das árvores selecionadas, foram conduzidos desbastes dentro de parcelas, transformando os TCs em PSM, os quais constituíram a base para a continuidade do programa de melhoramento genético e para a produção de sementes melhoradas a serem disponibilizadas.

Cada BC constituiu-se de progênies de árvores amostradas em apenas uma população original (procedência). O plantio no campo seguiu o delineamento de blocos casualizados, com uma planta por parcela e espaçamento de 4 m x 4 m, com até 100 repetições. Os BCs ocuparam uma área total de 238,83 ha, constituindo a base do programa de conservação da variabilidade genética de cada espécie de eucalipto e corímbia.

Em 1995 e 1996, foram incorporadas à rede, Áreas de Produção de Sementes (APS) de *E. dunnii, E. viminalis* e *E. badjensis* e mais dois testes de progênies de *E. dunnii* e *E. badjensis.* A APS de *E. dunnii* foi decorrente do desbaste de um teste de procedência estabelecido em 1980. Para *E. viminalis* foram desbastados três talhões plantados em 1995 (de 10 ha cada), transformando-os em APS, utilizando-se sementes de procedências selecionadas com base na rede de TC. Foi também plantado um talhão (10 ha) de *E. badjensis*, visando a sua transformação em APS.

Até 1997, na região Sul, 22 TCs e 30 BCs de nove espécies de eucaliptos haviam sido instalados, além de áreas de produção de sementes, abrangendo 11 localidades do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. No Rio Grande do Sul, a parceria com a Companhia de Celulose do Sul-Riocell/CMPC Celulose Riograndense permitiu o estabelecimento das seguintes populações base de eucaliptos: (i) *E. camaldulensis* (143 progênies/14 procedências); *E. grandis* (191/10); *E. pilularis* (39/2); *E. resinifera* (24/1) e *E. tereticornis* (55/2), no município de Barra do Ribeiro; (ii) *E. deanei* (10/1) e *E. pellita* (28/2), respectivamente em Guaíba e S. Jeronimo; (iii) *E. saligna* (188/8) e *E. resinifera* (188/1) em Eldorado do Sul; (iv) *E. viminalis* (176/8) em Butiá. No Paraná, a parceria com as empresas privadas Klabin S.A./Papel e Celulose Catarinense-PCC e Agroflora propiciaram o estabelecimento de populações base de: (i) *E. deanei* (10/1); *E. grandis* (200/10); *E. pilularis* (29/2); *E. resinifera* (227/2); *E. saligna* (202/8); *E. viminalis* (171/8), em Telêmaco Borba e (ii) *E. viminalis* (163/8), em Campo do Tenente. Em Santa Catarina, com o apoio das empresas PCC/Klabin S.A., Igaras/Klabin S.A., Celulose Reis S.A. (atual Irani Papel e Embalagem S.A.) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina-Epagri, populações base de *E. viminalis* foram estabelecidas nos municípios de Santa Cecília (170 progênies/8 procedências); Otacílio Costa (176/8); Ponte Serrada (40/5) e Chapecó (141/8). A partir de 1997, o programa de melhoramento genético e produção de sementes melhoradas de eucaliptos coordenado pela Embrapa Florestas, após reestruturação (desbaste de alguns testes e eliminação de outros), passou a ser constituído de 174 testes de progênies e três Áreas de Produção de Sementes, ocupando uma área de 660,3 hectares, com os objetivos de selecionar árvores superiores; de estabelecer áreas de produção

de sementes; e de coletar e implantar um banco de sementes e de pólen na Embrapa (Resende; Higa, 1990). Durante o período de 1985 a 1997, foram realizadas coletas de sementes de *E. dunnii* (Colombo, PR), de Banco de Conservação de *E. pilularis* (123 árvores) e de *C. maculata* (79 árvores). Boa parte dos materiais genéticos de eucaliptos e corímbias atualmente utilizados no Brasil, incluindo aqueles resultantes da hibridação interespecífica, originaram-se dessas populações básicas australianas coletadas pela Embrapa.

Até 1997, foram instalados 88 TCs e 38 BCs de 11 espécies na região Sudeste. Em São Paulo, as parcerias com as empresas privadas Ripasa S.A Celulose e Papel (atual Grupo Suzano); Champion Papel e Celulose S. A. (International Paper do Brasil Ltda); Florestamento Integrado S.A.-Florin/Companhia Suzano de Papel e Celulose (Grupo Suzano); Eucatex S.A. e o Instituto Florestal de São Paulo-IF permitiram o estabelecimento das seguintes populações base de eucaliptos: (i) *E. camaldulensis* (187 progênies/14 procedências) e *E. cloeziana* (110/5) em São Simão; (ii) *E. grandis* em Boa Esperança do Sul (188 progênies/10 procedências), em Caçapava (186/10), em Mogi Guaçu (188/10) e em São Manuel (25/1); (iii) *C. maculata* em Pederneiras (50/2); (iv) *E. pellita* em Caçapava (18/2), Mogi Guaçu (28/2), Brotas (28/2), Boa Esperança do Sul (28/2), Altinópolis (27/2) São Miguel Arcanjo (24/2) e Anhembi (18/2); (v) *E. pilularis* em Luiz Antonio (51/2), Altinópolis (53/2), Brotas (35/2), Mogi Guaçu (23/1), Biritim Mirim (35/2), Boa Esperança do Sul (37/2) e Itú (24/2); (vi) *E. resinifera* em Itararé (180/1), Mogi Guaçu (176/1), Bofete (171/1) Caçapava (146/1), Manduri (76/1), Boa Esperança do Sul (23/1) e Luiz Antônio (18/1); (vii) *E. saligna* em Itararé (180/8), Mogi Guaçu (177/8), Caçapava (172/8), Bofete (169/6) e Manduri (96/7); (viii) *E. tereticornis* em Batatais (52/2) e Brotas (43/2); *E. urophylla* em Anhembi (42/1) e Bofete (27/2) e (ix) *E. viminalis* em Itararé (144/8). Em Minas Gerais, as parcerias com as empresas privadas Celulose Nipo-brasileira S.A. (Cenibra), Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara Ltda (CAFSB)/Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira (atual ArcelorMittal BioFlorestas), Plantar Planejamento Técnico-Administrativo e Reflorestamento/Grupo Plantar, Florestal Acesita S.A. (ArcelorMittal BioFlorestas), Companhia Siderúrgica Guanabara - Cosigua (Grupo Gerdau), Mannesmann (V&M Florestal - Vallourec do Brasil) permitiram o estabelecimento das seguintes populações base de eucaliptos: (i) *E. camaldulensis* em Januária (198 progênies/14 procedências), Guanhães (185/14), Buritizeiro (144/14) e Iapu (137/13); (ii) *E. cloeziana* em Martinho Campos (105/5), Rio Pardo de Minas (92/5), Timóteo (90/5), Belo Oriente (78/5) e Virginópolis (78/5); (iii) *E. grandis* em Ipatinga (166/10) e Guanhães (166/10); (iv) *C. maculata* em Martinho Campos (46/2) e Lassance (36/2); (v) *E. pellita* em Belo Oriente (28/2), Ipatinga (28/2), João Pinheiro (28/2), Timóteo (27/2), Martinho Campos (26/2) Lassance (26/2) e Santa Bárbara (25/2); (vi) *E. pilularis* em Martinho Campos (42/2), Lassance (35/2), Itamarandiba (34/2), Itacambira (31/2) e Virginópolis (23/2); (vii) *E. resinifera* em Ipatinga

(189/1), Ipaba (163/1), Guanhães (172/1), Itacambira (25/1), João Pinheiro (23/1), Itamarandiba (25/1), Martinho Campos (25/1), Lassance (24/1); (viii) *E. saligna* em Ipatinga (189/8) e Guanhães (172/8); e (ix) *E. urophylla* em Ipatinga (53/2). No Espírito Santo, as parcerias com as empresas Aracruz Florestal S.A. (atual Fibria S.A.) e Bahia Sul Celuloose S.A. (Grupo Suzano) permitiram o estabelecimento das seguintes populações base de eucaliptos: (i) *E. grandis* em Aracruz (76 progênies/5 procedências); (ii) *E. peliita* em Pedro Canário (26/2) e Aracruz (28/1) e (iii) *E. resinifera* em Pedro Canário (25/1) e Aracruz (23/1).

Para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, a distribuição de TC e BC e as respectivas informações sobre as procedências e progênies estabelecidas são fornecidas adiante, agrupadas por espécie.

No final da década de 1990, a Embrapa Florestas realizou uma colheita de sementes em árvores matrizes geneticamente selecionadas de algumas espécies que foram intensivamente avaliadas em diversas condições ambientais, nas várias regiões brasileiras.

Com o primeiro redimensionamento da rede experimental de melhoramento genético de eucaliptos e corímbias, ocorrido no final de 1997, em função das prioridades de pesquisa da Embrapa Florestas e instituições parceiras, o programa restringiu-se a 99 TCs e 70 BCs (Higa et al., 1991, 1997b).

Em 1998, após eleitas as espécies e respectivas ações prioritárias à continuidade do programa da Embrapa Florestas e parcerias, iniciou-se o resgate de germoplasma-semente de segunda geração de seleção na rede experimental, para as espécies: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. cloeziana*, *E. pilularis* e *E. urophylla* (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011). Conforme relataram estes autores, o programa de melhoramento genético de eucaliptos da Embrapa Florestas, a partir da década de 1980, abrangeu 23 municípios de seis Estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste, compreendendo 18 bases de melhoramento que contemplaram 36 estruturas genéticas diferenciadas de dez espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia,* como fontes de germoplasma.

O programa corrente de melhoramento genético de eucaliptos e corímbias da Embrapa Florestas e parcerias vem atendendo demandas nacionais de germoplasma melhorado para uso direto na propriedade rural, fins energéticos industriais e da população urbana e rural, por meio da disponibilização de populações, progênies híbridas e clones de "urograndis" (*E. urophylla* x *E. grandis)*, *E. grandis* e *E. urophylla* de segunda geração de seleção genética no Brasil. Também não está voltado completamente à produção de germoplasma para a produção de celulose e papel, mas atende tanto as demandas específicas dos diversos setores industriais, bem como ao avançado estágio de desenvolvimento dos programas privados na seleção de clones (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Os trabalhos desenvolvidos nos respectivos Bancos Ativos de Germoplasmas (BAG) das espécies de eucaliptos e corimbias, até o momento, limitaram-se a

mantê-los em boas condições no campo. Como estratégia de utilização, prevê-se a prospecção de genes de interesse, hibridação e intercâmbio com outras instituições de pesquisa.

As informações sobre o desenvolvimento inicial da rede experimental de espécies e procedências de eucaliptos e corímbias, cujas sementes foram coletadas pela Embrapa, na Austrália, estão apresentadas a seguir.

Eucalyptus saligna

A rede experimental de *E. saligna* estendeu-se às regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Ribas do Rio Pardo, MS e Uberaba, MG (Agroindustrial Eldorado S.A.), Guanhães, MG, Ipaba, MG e Ipatinga, MG (Cenibra florestal S.A.), Mogi Guaçu, SP (Champion Papel e Celulose S;A./ International Paper do Brasil Ltda), Paraibuna, SP (Centrais Energéticas de São Paulo - Cesp), Bofete, SP (Eucatex Florestal S.A.), Caçapava, SP (Florestamento Integrado S.A. - Florin/Fibria S.A), Itararé, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano), Telêmaco Borba, PR (Klabin S.A.), Ibaiti, PR (Papel de Imprensa S.A. - Pisa/Norske Skog/ atual Grupo Chileno BO Paper PISA) e Eldorado do Sul, RS (Companhia Celulose do Sul - Riocell/CMPC Celulose Riograndense).

Resultados da avaliação, aos 36 meses de idade, mostraram maiores produtividades de madeira para as procedências Blackdown Tableland-Queensland e Chaelundi S.F/Dorrigo-NSW em Bofete, SP.

Progênies e procedências (175/8) de *E. saligna* testadas nos municípios paulistanos de Lençóis Paulista e Itararé, em áreas da Ripasa S.A. Celulose e Papel /Grupo Suzano, diferiram significativamente quanto ao crescimento de árvores e à produtividade de madeira. Aos 39 meses de idade, Blackdown Tableland-Queensland apresentou o melhor desempenho em Lençóis Paulista (77 m^3 ha^{-1}) e Brother S.F.-Glen Innes-NSW foi a mais produtiva em Itararé (128 m^3 ha^{-1}), mostrando superioridade de 47,6% e 45,8% para volume de madeira em relação à fonte de semente comercial local daquelas regiões, respectivamente. As procedências australianas Chaelundi S.F/ Dorrigo-NSW, Brother S.F/Glen Innes-NSW e Kenilworth-QLD também mostraram bom desempenho, aos 61 meses de idade, nessas mesmas regiões.

Em Guanhães, MG e Ipaba, MG, sobressaíram-se as procedências de Chaelundi S.F/Dorrigo-NSW e Kenilworth-QLD, enquanto que, em Ipatinga, MG, Yabbra S.F./ Urbenville-NSW, Kenilworth-QLD e Brother S.F/Glen Innes-NSW mostraram-se superiores às demais testadas, aos 36 meses de idade.

Em Telêmaco Borba, PR, em avaliação realizada aos 60 meses de idade, as procedências Brother S.F/Glen Innes-NSW, Kroombit Tops-QLD e Chaelundi S.F./ Dorrigo-NSW foram superiores às demais testadas, em termos de produtividade de madeira. Em Eldorado do Sul, RS, aos 60 meses de idade, as maiores produtividades

em volume de madeira também foram das procedências Chaelundi S.F/Dorrigo-NSW e Kroombit Tops-QLD.

Em 1995, por via do programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais à orientação de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras. Em 1998, ocorreu o resgate de germoplasma-semente de segunda geração de seleção na rede experimental, para seis espécies prioritárias no programa de melhoramento, entre as quais *E. saligna* (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Com a intenção de explorar a heterose para caracteres de importância econômica e adaptativa, *E. saligna* foi incluída na relação de espécies prioritárias ao programa estratégico de hibridação (intra e interespecífica) e de polinização controlada da Embrapa Florestas. As principais espécies envolvidas nos cruzamentos com *E. saligna*, considerando produtividade e tolerância/resistência à seca, foram fornecidas por Paludzyszyn Filho e Santos (2011).

Em 2005, foi estabelecido um banco de clones em Piraju, SP (Instituto Florestal do São Paulo). Em 2010, foi incorporado à programação um teste clonal (primeira geração de melhoramento) estabelecido em Ponta Porã, MS, com o apoio da Embrapa Agropecuária Oeste.

A partir de 2005, foram mantidas na forma de banco ativo de germoplasma (BAG) as procedências Kroombit Tops-QLD em Telêmaco Borba, PR (Klabin S.A); Kenilworth S.F.-QLD em Eldorado do Sul, RS (CMPC Celulose Riograndense); Brother S.F/Glen Innes-NSW em Guanhães, MG (Cenibra Florestal S.A); Yabbra S.F/ Urbenville-NSW em Tibagi, PR (Vale do Corisco); e Styx River S.F./Armindale-NSW; Barrington Tops Cloucester-NSW e Chaelundi S.F./Dorrigo-NSW em Caçapava, SP (Fibria S.A)(Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Eucalyptus cloeziana

A rede experimental de *E. cloeziana* estendeu-se às regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, abrangendo os municípios de Três Lagoas, MS (Companhia Energética de São Paulo (Cesp)), Inhambupe, BA (Copene Energética-Copener/Bahia Specialty Cellulose (BSC)), Jandaira, BA (Duratex Florestal S.A.), Belo Oriente, MG e Virginópolis, MG (Cenibra Florestal S.A.), Martinho Campos, MG (Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara-CAFSB/ArcelorMittal BioFlorestas), Lassance, MG (Companhia Siderúrgica da Guanabara (Cosigua)), Timóteo, MG (Florestal Acesita S.A/ArcelorMittal BioFlorestas), Altinópolis, SP (Champion Papel e Celulose S.A/International Paper do Brasil Ltda), Luiz Antônio, SP e São Simão, SP (Instituto Florestal de São Paulo) e Anhembi, SP (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Esalq/Universidade de São Paulo - USP). Cento e dez progênies de cinco procedências (110/5) foram testadas nos locais referidos. A avaliação realizada, aos

36 meses de idade, indicou a procedência australiana Woondun S.F./Gympie-QLD como a mais produtiva para os locais: Virginópolis, Timóteo, Belo Oriente e Entre Rios, cujos solos são areno-argilosos ou mesmo arenosos, mas de boa fertilidade, e a procedência australiana 12 km SW of Cardwell S.F-QLD para locais com solos de baixa fertilidade, como aqueles de Altinópolis. de maneira geral, houve expressão de considerável variabilidade genética para altura e DAP em todos os locais testados, o que concorreu para a obtenção de coeficientes de herdabilidade de alta magnitude, indicando excelentes possibilidades para efetivas seleções das melhores famílias e indivíduos. O estudo de interação de família por local possibilitou o estabelecimento de estratégias de seleção mais adequadas para esse material genético e locais avaliados. O comportamento de cada procedência mostrou-se previsível, em função do tipo de solo e precipitação pluviométrica dos locais testados. Com base nos resultados das correlações genéticas entre locais e nas características físicas e químicas dos solos, além da precipitação pluviométrica nesses locais, concluiu-se que o melhoramento de *E. cloeziana* deveria ser baseado, em linhas gerais, na delimitação de três zonas de melhoramento: (i) Virginópolis, MG, Timóteo, MG e Entre Rios, BA; (ii) Belo Oriente, MG e (iii) Altinópolis, SP, São Simão, SP e Luiz Antônio, SP (Souza et al., 1992).

Em Ibaté, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano), resultados de avaliação realizada aos 60 meses de idade também mostraram o melhor desempenho para a procedência 12 km SW of Cardwell S.F.-QLD, entre aquelas testadas. Em Virginópolis, MG e Belo Oriente, MG (Cenibra Florestal S.A.), Woondun S.F/ Gympie-QLD também foi a procedência mais produtiva, aos 61 meses de idade.

Aos 36 meses de idade, sobressaíram-se com o melhor crescimento as procedências 5-12 km S of Helenvale-QLD e Blackdown Tableland-QLD, respectivamente para Três Lagoas, MS (Companhia Energética de São Paulo - Cesp) e Rio Pardo de Minas, MG (Companhia Siderúrgica da Guanabara - Cosigua).

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para a orientação de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras. Em 1998, ocorreu o resgate de germoplasma-semente de segunda geração de seleção na rede experimental, para seis espécies prioritárias, entre as quais *E. cloeziana* (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

No período de 2004 a 2009, populações base de melhoramento (2ª geração) foram estabelecidas nos municípios de Goiânia, GO (Serviço de Negócios para Transferência de Tecnologia- atual Embrapa Produtos e Mercado, em 2004), Niquelândia, GO (Anglo American Brasil - Unidade Codemin, 2009) e Ponta Porã, MS (2007), para a produção de sementes melhoradas, via seleção recorrente intrapopulacional baseada no fenótipo, e obtenção de clones. A seleção de indivíduos, como candidatos a clones

comerciais, obtenção de rebrotes e multiplicação por sistema clonal, foi o objetivo central do programa de melhoramento genético dessas populações. Em Goiânia, MS, a população original (2.440) foi reduzida a 304 árvores, aos seis anos de idade, para tais objetivos (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

A partir de 2005, as procedências: (i) 12 km SW of Cardwell S.F.-QLD; 5-12 km S of Helenvale-QLD; 10-25 km W of Herberton-QLD; Blackdown Tableland-QLD e Woodum S.F. Gympie-QLD em Guanhães, MG (Cenibra Florestal S.A); (ii) 12 km SW of Cardwell S.F.-QLD ; 5-12 km S of Helenvale-QLD e Blackdown Tableland-QLD em Luiz Antônio, SP (Instituto Florestal de São Paulo-IF); e (iii) 12 km SW of Cardwell S.F.-QLD e 5-12 km S of Helenvale-QLD em Anhembi, SP (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Esalq/USP) foram mantidas na forma de BAG, no respectivo programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

A situação atual dessa espécie, no programa de melhoramento genético conduzido pela Embrapa Florestas e parcerias, está descrita no capítulo 2.

Eucalyptus pilularis

A rede experimental de *E. pilularis* estendeu-se às regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Almeirim, PA (Companhia Florestal Monte Dourado – Jari - Grupo Orsa), Inhambupe, BA (Copene Energética S.A - Copener/Bahia Specialty Cellulose -BSC), Três Lagoas, MS (Companhia Energética de São Paulo - Cesp), Virginópolis, MG (Cenibra Florestal S.A), Martinho Campos, MG (Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara - CAFSB/ArcelorMittal BioFlorestas), Lassance, MG (Companhia Siderúrgica da Guanabara - Cosigua), Itamarandiba, MG (Florestal Acesita S.A/ArcelorMittal BioFlorestas), Itacambira, MG (Plantar Planejamento Técnico-Administrativo e Reflorestamento/Grupo Plantar), Brotas, SP e Mogi Guaçu, SP (Champion Papel e Celulose S.A/International Paper do Brasil), Biritiba Mirim, SP (Companhia Suzano de Papel e Celulose), Itú, SP (Eucatex Florestal S.A.), Boa Esperança do Sul, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano), e Telêmaco Borba, PR (Klabin S.A.).

Aos 36 e 60 meses de idade, Gallangowan S.F.-QLD foi a procedência de melhor desempenho em todos os locais testados. Baseando-se nos resultados obtidos para correlações genéticas entre locais, concluiu-se que o melhoramento dessa espécie, o intercâmbio de sementes, informações e de material vegetativo selecionado para uso direto em pomares de sementes poderiam ser praticados, em função de três zonas: (i) Mogi Guaçu, SP; (ii) Lassance, MG e Virginópolis, MG; (iii) Boa Esperança do Sul, SP; Brotas, SP; Itamarandiba, MG, Itacambira, MG e Virginópolis, MG (Souza et al., 1993).

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para a orientação de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de

eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras. Em 1998, ocorreu o resgate de germoplasma-semente de segunda geração de seleção na rede experimental, para seis espécies prioritárias, entre as quais *E. pilularis* (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Após redimensionamento da rede experimental de eucaliptos, apenas o TC instalado em Brotas, SP, que foi transformado em Pomar de Sementes por Mudas (PSM) após desbaste ocorrido em 1995, foi mantido na programação de estudos (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

A partir de 2005, as procedências: (i) Fraser Island-QLD em Guanhães, MG e Gallangowan S.F.-QLD em Itamarandiba, MG; e (ii) Gallangowan S.F.-QLD em Biritiba Mirim, SP e Brotas, SP foram mantidas na forma de BAG, no programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Eucalyptus pellita

A rede experimental de *E. pellita* estendeu-se às regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Almeirim, PA (Companhia Florestal Monte Dourado – Jari - Grupo Orsa), Inhambupe, BA (Copene Energética S.A - Copener/Bahia Specialty Cellulose - BSC), Esplanada, BA (Duratex Florestal S.A.), Alcobaça, BA (Bahia Sul Celulose S.A/Grupo Suzano), Niquelândia, GO (Anglo American Brasil - Unidade Codemin), Rio Verde, GO (Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano - Comigo), Ponta Porã, MS (Embrapa Agropecuária Oeste), Belo Oriente, MG, Ipatinga, MG e Santa Bárbara, MG (Cenibra Florestal S.A.), Timóteo, MG (Florestal Acesita S.A/(ArcelorMittal BioFlorestas), Lassance, MG (Companhia Siderúrgica da Guanabara - Cosigua), João Pinheiro-MG (Mannesmann Agroflorestal Ltda), Martinho Campos, MG (Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara - CAFSB/ArcelorMittal BioFlorestas), Uberaba-MG (Agroindustrial Eldorado S.A.), Pedro Canário-ES (Bahia Sul Celulose S.A/Grupo Suzano), Altinópolis, SP, Brotas, SP e Mogi Guaçu, SP (Champion Papel e Celulose S.A/International Paper do Brasil Ltda.), São Miguel Arcanjo, SP (Companhia Suzano de Papel e Celulose), Anhembi, SP (Eucatex Florestal S.A.), Batatais, SP (Instituto Florestal de São Paulo (IF)), Caçapava, SP (Florestamento Integrado S.A. - Florin/Fibria S.A.), Boa Esperança do Sul, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano), Anhembi, SP (Esalq/USP), e São Gerônimo, RS (Companhia Celulose do Sul-Riocell/CMPC Celulose Riograndense).

Com exceção de Brotas, SP, nas avaliações realizadas aos 36 e 60 meses de idade, a procedência 5-12 km S of Helenvale-QLD destacou-se em todos os locais testados, apresentando a maior produtividade de madeira. Resultados de avaliações de testes estabelecidos no litoral do Espírito Santo (município de Aracruz) e no interior de São Paulo (Boa Esperança do Sul), mostraram correlações genéticas positivas entre as características de crescimento e a densidade básica da madeira, com boas perspectivas de ganhos genéticos por meio da seleção dos melhores indivíduos e famílias. Os

resultados das análises para a procedência Helenvale-QLD, testada em Boa Esperança do Sul, SP, mostraram que a seleção de árvores baseada nas características de crescimento não comprometeu a possibilidade de ganho na densidade da madeira, sendo incluída como critério ao segundo desbaste do teste. Para a procedência Coen-QLD nas duas localidades estudadas, a seleção unicamente baseada nas características de crescimento determinou um acréscimo garantido à densidade da madeira.

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para a orientação de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras. Em 1998, ocorreu o resgate de germoplasma-semente de segunda geração de seleção na rede experimental, para seis espécies prioritárias, entre as quais *E. pellita* (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Novos testes de progênies e teste clonal (espécie pura e diversos híbridos) de *E. pellita* foram estabelecidos em 2009 e no início de 2010, em Niquelândia, GO, Rio Verde, GO e Ponta Porã, MS (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011), por meio de material genético importado pela Embrapa Florestas diretamente do CSIRO, com o objetivo de estabelecer uma população base de melhoramento adaptada às condições regionais, produzir sementes melhoradas, bem como obter clones potenciais. Esse teste envolveu 23 matrizes oriundas de um pomar clonal de sementes de segunda geração estabelecido em Papua-Nova Guiné, procedentes de: (i) Sul de Kiriwo-PNG; (ii) Norte de Kiriwo-PNG; (iii) Serisa Village-PNG; (iv) Keru to Mata-PNG, material genético importado pela Embrapa Florestas. Mediante avaliações genéticas, desbastes periódicos vêm sendo feitos, mantendo-se as melhores matrizes para recombinação sexuada e resgate via clonagem para integrar a estratégia clonal e de formação de híbridos, por meio da polinização controlada em pomar *indoor*.

Relativo à tolerância ou resistência às doenças e à seca, a utilização de *E. pellita* é estratégica para a obtenção de combinações vantajosas, para superar tais tipos de estresses, que são comuns em ambientes tropicais, como o Brasil. Para tanto, mediante o valor genético aditivo individual, foram selecionadas as melhores matrizes identificadas nos testes instalados em Goiás e Mato Grosso do Sul.

Com vistas a explorar a heterose para caracteres de importância econômica e adaptativa, E. *pellita* está incluída na relação de espécies prioritárias ao programa estratégico de hibridação (intra e interespecífica) e de polinização controlada da Embrapa Florestas. As principais espécies envolvidas nos cruzamentos com *E. pellita*, considerando produtividade e tolerância/resistência à seca, foram fornecidas por Paludzyszyn Filho e Santos (2011).

A partir de 2005, as procedências: (i) 14,6 km NE of Coen-QLD e 5-12 km S of Helenvale-QLD em São Miguel Arcanjo, SP; (ii) 14,6 km NE of Coen-QLD em Anhembi, SP foram mantidas na forma de BAG, no respectivo programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

A situação atual dessa espécie no programa de melhoramento genético conduzido pela Embrapa Florestas e parcerias está descrita no capítulo 2.

Eucalyptus resinifera

A rede experimental de *E. resinifera* estendeu-se às regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Almeirim, PA (Companhia Florestal Monte Dourado - Jari), Inhambupe, BA (Copene Energética S.A - Copener/Bahia Specialty Cellulose - BSC), Alcobaça, BA (Bahia Sul Celulose S.A/Grupo Suzano), Ipatinga, MG (Cenibra Florestal S.A.), Martinho Campos, MG (Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara - CAFSB/ArcelorMittal BioFlorestas), Lassance, MG (Companhia Siderúrgica da Guanabara - Cosigua), João Pinheiro, MG (Mannesmann Agroflorestal Ltda), Itamarandiba, MG (Florestal Acesita S.A/ArcelorMittal BioFlorestas), Itacambira, MG (Plantar Planejamento Técnico-Administrativo e Reflorestamento/Grupo Plantar), Luiz Antônio, SP (Instituto Florestal de São Paulo - IF), Boa Esperança do Sul, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/ Grupo Suzano), Anhembi-SP (Esalq/USP), Aracruz-ES (Aracruz Florestal S.A./Fibria S.A/Suzano), Pedro Canário, ES (Bahia Sul Celulose S.A/Grupo Suzano), Telêmaco Borba, PR (Klabin S.A.), Barra do Ribeiro, RS e Eldorado do Sul, RS (Companhia Celulose do Sul - Riocell/CMPC Celulose Riograndense).

Uma única procedência (25-36 km SW of Mareeba-QLD) com 25 progênies foi testada nesses locais. Resultados de avaliações realizadas, aos 60 meses de idade, mostraram maior crescimento em Barra do Ribeiro, RS (13,07 m de altura), seguidos por Aracruz, ES (10,87 m), Almeirim, PA (10,47 m) e Itamarandiba, MG (10,86 m). Para o litoral do Espírito Santo, a estratégia adotada foi a seleção baseada em ambas as características, crescimento e massa específica básica da madeira, no primeiro desbaste, uma vez que houve correlação genética negativa entre essas características, indicando que a seleção baseada somente nas características de crescimento acarretaria perdas na massa específica básica da madeira.

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos valores genéticos aditivos individuais para a orientação de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

A partir de 2005, a procedência 25-36 km SW of Mareeba-QLD estabelecida em Telêmaco Borba, PR e em Anhembi, SP foi mantida na forma de BAG, no respectivo programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Eucalyptus camaldulensis

A rede experimental de *E. camaldulensis* estendeu-se às regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Olindina, BA

(Copene Energética S.A - Copener/Bahia Specialty Cellulose-BSC), Três Lagoas, MS (Companhia Energética de São Paulo - Cesp), Ribas do Rio Pardo, MS (Agroindustrial Eldorado S.A.), Selviria, MS (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita (Unesp)), Guanhães, MG e Iapu, MG (Cenibra Florestal S.A.), Buritizeiro, MG e Januária, MG (Plantar Planejamento Técnico-Administrativo e Reflorestamento/ Grupo Plantar), São Simão, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano), Luiz Antônio, SP e São Simão, SP (Instituto Florestal de São Paulo (IF)) e Barra do Ribeiro, RS (Companhia Celulose do Sul - Riocell/CMPC Celulose Riograndense).

Foram testadas 214 progênies de 14 procedências australianas nos referidos locais, com números variáveis de progênies/procedências por local.

Em São Simão, SP, Guanhães, MG e Olindina, BA sobressaiu-se no crescimento em altura a procedência Nott's Crossing/Katherine River-Katherine-NT, em avaliação realizada aos 36 meses de idade. Em três Lagoas, MS, as maiores produtividades de madeira foram observadas para as procedências Duham River-WA e Victoria River/Timber Creek Township-NT, naquela mesma idade. Em Barra do Ribeiro, RS, o melhor desempenho também foi da procedência Nott's Crossing/Katherine River-Katherine-NT, seguida pela procedência Gibb River-WA, aos 60 meses de idade.

Resultados da avaliação de um outro teste de progênies (132) da procedência Nott's Crossing/Katherine River-Katherine-NT, no município de Santo Antonio do Leverger, MT, conduzido em parceria com a Universidade Federal do Mato Grosso, Unesp e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFMT/Campus São Vicente, realizada aos 24 meses de idade, mostraram valores de média a alta magnitude para as estimativas de herdabilidades (sentido restrito), respectivamente 0,13 e 0,21 para altura e DAP, além da presença de variabilidade genética, indicando alto potencial para obtenção de ganhos por meio da seleção dos melhores indivíduos dentro de progênies. Os valores genéticos preditos com propagação sexuada e assexuada indicaram também boas possibilidades de ganhos esperados com plantios clonais.

Na avaliação realizada, aos 60 meses de idade, dados de DAP foram analisados pelo procedimento de modelo linear misto univariado aditivo REML/BLUP do programa Selegen. Os resultados da análise mostraram que a seleção dos vinte melhores indivíduos pelo método de seleção entre e dentro proporcionou um ganho genético de 19,7%, elevando a média do DAP de 9,73 cm (população original) para 11,21 cm na população melhorada, valor significativo, associando-se à magnitude do caráter sob seleção. A seleção entre e dentro dos vinte melhores indivíduos proporcionou ganhos genéticos preditos com maior variabilidade genética, com genótipos promissores ao programa de melhoramento genético de *E. camaldulensis* (Souza et al., 1992).

Em 1995, também usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para a orientação de desbastes seletivos, seleção

de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Eucalyptus tereticornis

A rede experimental de *E. tereticornis* estendeu-se às regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Almeirim, PA (Companhia Florestal Monte Dourado – Jari - Grupo Orsa), Inhambupe, BA (Copene Energética S.A - Copener/Bahia Specialty Cellulose - BSC), Três Lagoas, MS (Companhia Energética de São Paulo - Cesp), Ribas do Rio Pardo, MS (Agroindustrial Eldorado S.A.), Belo Oriente, MG (Cenibra Florestal S.A.), Lassance, MG (Companhia Siderúrgica da Guanabara - Cosigua), Timóteo, MG (Florestal Acesita S.A/ ArcelorMittal BioFlorestas), João Pinheiro, MG (Mannesmann Agroflorestal Ltda), Curvelo, MG (Plantar Planejamento Técnico-Administrativo e Reflorestamento/Grupo Plantar), Brotas, SP (Champion Papel e Celulose S.A./International Paper do Brasil Ltda), Batatais, SP e Luiz Antônio, SP (Instituto Florestal de São Paulo - IF) e Barra do Ribeiro, RS (Companhia Celulose do Sul - Riocell/CMPC Celulose Riograndense).

Em Barra do Ribeiro, RS, Brotas, SP, Inhambupe, BA e Três Lagoas, MS, maior produtividade de madeira foi mostrada pela procedência Ravenshoe-QLD, com valores de crescimento em altura decrescentes nessa mesma ordem dos locais mencionados, em avaliação realizada aos 36 meses de idade. Em Belo Oriente, MG, Timóteo, MG e Almerim, PA, os resultados de avaliação, nessa mesma idade, mostraram melhor desempenho para a procedência 5-12 km S of Helenvale-QLD, também com valores de crescimento em altura decrescentes nessa mesma ordem dos locais mencionados. Em todos os locais de teste, foram observados alguns indivíduos híbridos vigorosos, com alto potencial de utilização aos programas de melhoramento, principalmente aqueles encontrados em Minas Gerais, que apresentaram alguma tolerância à seca de ponteiros ocorrida.

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para a orientação de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

A partir de 2005, as procedências 5-12 km S of Helenvale-QLD; Revenshoe-QLD e Mt. Garnet-QLD, estabelecidas em Belo Oriente, MG, foram mantidas na forma de BAG, no respectivo programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Corymbia citriodora

Corymbia citriodora tem sido plantada tradicionalmente no Brasil, principalmente por pequenos e médios proprietários rurais, para múltiplas finalidades, como lenha, carvão vegetal, mourões, pontaletes, postes, serraria, óleo essencial (citronelal), entre outras. A expansão da área de cultivo de eucaliptos e a busca de melhor adequação da matéria-prima ao produto final têm ampliado o horizonte de espécies e combinações híbridas à silvicultura brasileira. Espécies do gênero *Corymbia*, como *C. citriodora* e alguns de seus híbridos interespecíficos têm ganhado maior dimensão no cenário nacional, devido aos aspectos de qualidade da madeira e adaptação às condições ambientais adversas.

A introdução de material genético de *Corymbia* no Brasil, com fins econômicos, foi feita inicialmente por Edmundo Navarro de Andrade, no começo do século passado, no Horto Florestal de Rio Claro, SP. Posteriormente, em 1971 novas introduções foram feitas pelo Prodepef/PNUD/FAO/BRA-45, pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef) e suas empresas associadas; pelo Instituto Florestal de São Paulo - IF (Ferreira, 2001), e pela Embrapa (Coleta..., 1982; Higa et al., 1997b), entre outras instituições públicas e privadas. No período de 1970 a 1984, segundo Reis et al. (2013b), haviam registros 37 lotes de sementes de *C. citriodora* introduzidos no Brasil, a maioria deles obtidos diretamente da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Em 2004, o Ipef realizou um levantamento dos experimentos com diferentes espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*, listando os germoplasmas existentes no Brasil, para o desenvolvimento do projeto "Resgate, conservação e fornecimento de materiais genéticos de *Eucalyptus* spp. (raças locais) em diferentes regiões edafoclimáticas" (Souza et al., 2005). Em 2011, novas introduções de *Corymbia* foram realizadas pelo Ipef e empresas associadas, dentre aquelas 50 espécies de eucaliptos (diversas procedências de sementes) obtidas diretamente de CSIRO, em expedição brasileira realizada à Austrália (Ipef..., 2012). Reis et al. (2013a) observaram, entretanto, que muitos outros experimentos com espécies de *Corymbia* foram estabelecidos no Brasil, por outras instituições, merecendo ser devidamente incluídos em uma lista atualizada de registros de introdução e do estado de conservação desses materiais genéticos de eucaliptos, para fins de resgate (por via de sementes, pólen e, ou propagação vegetativa), principalmente pela dificuldade atual de importação de materiais genéticos da Austrália.

Características como a adaptação fisiológica em diferentes regiões brasileiras, incremento volumétrico de madeira e boa forma do fuste tornam o seu cultivo bastante atrativo, mas há grande carência de informações silviculturais de *C. citriodora* em comparação com as espécies *E. grandis*, *E. urophylla* e ao híbrido "urograndis". As espécies do gênero *Corymbia* são consideradas de difícil propagação. Com exceção de *C. torelliana* cujo enraizamento é viável, as demais espécies testadas são todas

recalcitrantes ao enraizamento (Reis et al., 2014b). Os níveis de enraizamento normalmente estão abaixo de 5%, o que tem impedido a sua utilização em programas clonais. Por esta razão, as plantações comerciais de *Corymbia* têm sido tradicionalmente estabelecidas por via seminal. O aprimoramento de técnicas de propagação vegetativa, entretanto, poderá trazer novos horizontes ao cultivo de *C. citriodora* no Brasil (Reis et al., 2013a).

A hibridação de *C. citriodora* com outras espécies é uma alternativa viável e interessante. No momento, o cruzamento entre *C. torelliana* e *C. citriodora* tem ocupado o centro das atenções de vários pesquisadores de instituições públicas e privadas no Brasil, devido ao fato de híbridos obtidos desse cruzamento apresentarem vantagens em termos de crescimento, facilidade para propagação vegetativa, além de tolerância ao frio, insetos e doenças (Reis et al., 2014b). Na Austrália, esses híbridos têm exibido alta plasticidade fenotípica, com plantios conduzidos em diferentes condições edafoclimáticas, muitas vezes não adequadas às espécies genitoras. Em virtude da importância e do potencial silvicultural dessa espécie, a Embrapa Florestas e a empresa de consultoria Assis Tech Ltda avaliaram o estado da arte de pesquisas com *C. citriodora* no Brasil, disponibilizando informações detalhadas no trabalho de Reis et al. (2013a).

Corymbia maculata

A rede experimental de *C. maculata* estendeu-se às regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, abrangendo os municípios de Inhambupe, BA (Copene Energética S.A - Copener/Bahia Specialty Cellulose-BSC), Três Lagoas, MS (Companhia Energética de São Paulo - Cesp), Ribas do Rio Pardo, MS (Transparaná S.A.), Martinho Campos, MG (Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara - CAFSB/ArcelorMittal BioFlorestas), Lassance, MG (Companhia Siderúrgica da Guanabara - Cosigua), São Simão, SP e Piraju, SP (Instituto Florestal de São Paulo - IF), Boa Esperança do Sul, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano) e Anhembi, SP (Esalq-USP).

Foram testadas 50 progênies de duas procedências australianas nesses locais. Os resultados da avaliação, realizada aos 60 meses de idade, mostraram ligeira superioridade da procedência Wondai S.F-QLD sobre a procedência Woondum S.F./Gympie-QLD em Três Lagoas, MS. Em Lassance, MG, com a mesma idade de avaliação, não houveram diferenças entre as duas procedências testadas, mas o crescimento dessas foi superior àquele verificado em Três Lagoas, MS. Em Inhambupe, BA, no entanto, a produtividade de madeira das duas procedências, avaliadas aos 36 meses de idade, foi maior que aquela observada em Lassance, MG e em Três Lagoas, MG, aos 60 meses de idade.

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para a realização de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de

eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Mediante uso do programa Selegen, com o procedimento da máxima verossimilhança residual/melhor predição linear não viciada-REML/BLUP, foram processados dados de DAP, aos 16 anos de idade, de um teste de progênies (25) de polinização aberta de *C. maculata*, procedência Wondai S.F-QLD, instalado em 1984 na Estação Experimental do Instituto Florestal de São Paulo - IF em Piraju, SP. Em 2004, com base nos valores genéticos aditivos estimados, foram selecionados os melhores indivíduos, por meio de desbaste dos indivíduos com baixo desempenho para crescimento, forma de fuste e com presença de gomose. Foram selecionadas 459 matrizes, que deram origem posterior ao PSM. A estimativa do ganho genético com a seleção foi 7,4% para DAP. Como houve seleção em ambos os sexos, foram observados ganhos expressivos em termos de produção de sementes melhoradas (Reis et al., 2014a).

Em 2007, a Embrapa Florestas e o Instituto Florestal de São Paulo requereram ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a inscrição da cultivar seminal de *C. maculata* (BRS 287), oriunda do banco de conservação genética (progênies de polinização aberta) instalado em Piraju, SP (Instituto Florestal de São Paulo), no Registro Nacional de Cultivares, o que ocorreu em 2008. Ressalta-se que as características morfológicas e, ou os descritores usuais utilizados para descrever/identificar as espécies de eucalipto não se adequaram à cultivar. Isso ocorreu devido ao reduzido grau de melhoramento genético da população, polinização natural e elevado número de genitores envolvidos na sua constituição, os quais contribuíram para a presença de expressiva variabilidade genética. A cultivar está devidamente isolada geneticamente de outros cultivos do gênero *Corymbia* (Reis et al., 2014a).

Sementes colhidas dessa cultivar foram utilizadas na implantação de cinco populações base: uma em Goiânia, GO (Embrapa Produtos e Mercado), em 2004; duas em Niquelândia, GO (Anglo American Níquel Brasil - Unidade Codemin), em 2009; uma em Rio Verde, GO (Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano - Comigo), em 2009, e uma em Ponta Porã, MS (Embrapa Agropecuária Oeste), em 2010 (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011). A seleção massal também vem sendo aplicada nessas populações, para a sua transformação em áreas de produção de sementes de raças locais e fonte de propágulos vegetativos para clonagem de árvores superiores. Na população de Goiânia, GO já foram conduzidas seleções fenotípicas de melhores árvores (324), com desbastes sucessivos das piores. Foram também conduzidos anelamentos, como tentativa de obter clones dos indivíduos selecionados, mas sem sucesso em razão da forte exsudação de gomose e rápida cicatrização do anelamento (Reis et al., 2014a).

As populações base, instaladas a partir de sementes da cultivar BRS 287, têm apresentado boa adaptação e desempenho nos ambientes de cultivo do Centro-Oeste brasileiro. Os melhores indivíduos selecionados serão clonados, testados em ambientes

contrastantes e também usados em cruzamentos controlados com *C. torelliana*. As principais vantagens de alguns desses híbridos interespecíficos são heterose para caracteres de crescimento, qualidade da madeira, maior facilidade de enraizamento e tolerância a pragas, ao frio e à seca. *C. maculata* encontra-se em estágio inicial de melhoramento genético no Brasil e ganhos expressivos de produtividade podem ser obtidos com o avanço das gerações melhoradas (Reis et al., 2014a).

As procedências: (i) Wondai S.F-QLD e Woondum S.F./Gympie-QLD em Anhembi, SP e (ii) Wondai S.F-QLD em Piraju, SP foram mantidas a partir de 2005, na forma de BAG, no respectivo programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Em 2010, uma Unidade de Observação de *C. maculata* também foi instalada em Ponta Porã, MS e vem sendo manejada para a produção de sementes melhoradas (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

A situação atual dessa espécie no programa de melhoramento genético conduzido pela Embrapa Florestas e parcerias está descrita no capítulo 2.

Eucalyptus grandis

A rede experimental de *E. grandis* estendeu-se às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Ribas do Rio Pardo, MS e Uberaba, MG (Agroindustrial Eldorado S.A.), Aracruz, ES (Aracruz Florestal S.A/Fibria S.A/ Suzano), Guanhães, MG e Ipatinga, MG (Cenibra Florestal S.A.), Mogi Guaçu, SP (Champion Papel e Celulose S.A/International Paper do Brasil Ltda), Caconde, SP (Companhia Energética de São Paulo - Cesp), São Manoel, SP (Eucatex Florestal S.A.), Caçapava-SP (Florestamento Integrado S.A.- Florin/Fibria S.A/Suzano), Boa Esperança do Sul, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano), Telêmaco Borba, PR (Klabin S.A.), e Barra do Ribeiro, RS (Companhia Celulose do Sul - Riocell/ CMPC Celulose Riograndense).

Duzentas progênies de dez procedências foram testadas nesses locais. Avaliações realizadas aos 60 meses de idade mostraram a superioridade de crescimento da procedência 27 km SE of Ravenshoe-QLD, em Telêmaco Borba, PR, Guanhães, MG, Boa Esperança do Sul, SP e Ipatinga, MG, que apresentaram crescimentos em altura decrescentes, na ordem desses locais mencionados.

Em Barra do Ribeiro, RS, as procedências Baldy S.F. 194/Atherton-QLD e Belthorpe S.F-QLD apresentaram produtividade de madeira ligeiramente superiores à procedência 27 km SE of Ravenshoe-QLD, aos 60 meses de idade. Em Guanhães, MG, também se sobressaíram as procedências Wild Cattle Creek SF/Dorrigo-NSW e Belthorpe S.F-QLD, nessa mesma idade. As procedências Baldy S.F./Atherton-QLD 194-QLD, Belthorpe S.F.-QLD, Yabbra SF Urbenville-NSW, 27 km SE of Ravenshoe-QLD e 25-36 km SE of Mareeba-QLD também apresentaram bom desempenho em Telêmaco Borba, PR, nessa mesma idade.

Resultados da análise de TC de *E. grandis* (10 procedências/188 progênies) estabelecidos em Boa Esperança do Sul, SP, conduzido pela Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano, em avaliação realizada aos 60 meses de idade, evidenciaram a maior produtividade da procedência Revenshoe II-QLD. Em Lençois Paullista, SP, a maior produtividade foi mostrada pela procedência Dorrigo-NSW, também em avaliação realizada aos 60 meses de idade. Em Itararé, SP, as procedências mais produtivas foram Mareeba, Atherton II e Ravenshoe II, todas de QLD, seguida pela procedência Urbenville-NSW, na mesma idade considerada. Resultados de análises de TC de *E. grandis* (10 procedências/166 progênies) conduzido pela Cenibra Florestal S.A., avaliados aos 62 meses de idade, mostrou a maior produtividade de madeira para a procedência Wild Cattle Creek S.F. Dorrigo-NSW em Guanhães-MG e a procedência 27 km SE of Revenshoe-QLD para Ipatinga, SP, respectivamente.

Estimativas de parâmetros genéticos para a densidade básica da madeira e suas correlações com as características de crescimento foram feitas para o teste (200 progênies de dez procedências) em Guanhães, MG. Para a determinação da densidade básica da madeira desse TC, foram coletados discos ao nível do DAP e a 10%, 30%, 50%, 70% e 90% da altura total das árvores, aos 60 meses de idade. Do ponto de vista tecnológico, os resultados obtidos caracterizaram adequadamente a densidade básica da madeira para *E. grandis*. Entretanto, a amostragem para esse estudo inicial (três progênies por procedência) mostrou-se insuficiente para a estimativa de parâmetros genéticos confiáveis e suas correlações com as características de crescimento, requerendo amostragens maiores e novas estimativas.

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para orientar os desbastes seletivos, a seleção de matrizes e a estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras. Em 1998, ocorreu o resgate de germoplasma-semente de segunda geração de seleção na rede experimental, para seis espécies prioritárias, entre as quais *E. grandis* (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Em Arapoti-PR, foram avaliados 17.916 indivíduos pertencentes a 163 progênies de polinização aberta de 11 procedências de *E. grandis,* visando a seleção dos melhores indivíduos e famílias, com base em seus valores genéticos preditos. Foram obtidas estimativas médias da herdabilidade no sentido restrito, em nível de indivíduos, e da acurácia seletiva, da ordem de 40% e 65%, respectivamente. A estimativa da correlação genética entre médias de progênies, nas duas fazendas (rg = 0,75), indicou que a interação genótipo-ambiente não é um problema para o melhoramento. Ganhos genéticos da ordem de 87% a 105% foram estimados com o estabelecimento das populações de melhoramento e de produção de sementes, respectivamente (Duda et al., 1997).

A estratégia de seleção recorrente intrapopulacional, destinada ao melhoramento de *E. grandis*, na base de São Carlos, SP, objetivou o aumento das frequências alélicas dos caracteres de interesse, por meio da realização de sucessivos ciclos seletivos baseados em famílias de meios-irmãos.

No final da década de 1990, a Embrapa Florestas realizou a colheita de sementes em árvores matrizes geneticamente selecionadas de algumas espécies de eucalipto, que foram intensivamente avaliadas em diversas condições ambientais, em várias regiões brasileiras. No caso de *E. grandis*, 581 lotes de sementes de progênies de polinização aberta representaram o produto dessa ação, sendo colhidas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná. Para o avanço da geração de seleção genética e constituição de uma nova população melhorada, foi utilizada a estratégia da seleção recorrente (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011). Detalhes do delineamento genético do teste e do plantio são apresentados por Paludzyszyn Filho et al. (2004).

A seleção genética foi realizada para produtividade de madeira, tendo como base a variável DAP, sendo selecionados indivíduos por valores genéticos aditivos individuais, em medições sucessivas anuais para os caracteres retidão, conicidade do tronco, diâmetro de galhos, ângulo de inserção de ramos e tolerância a doenças de tronco. Avaliações do crescimento em DAP, aos 8, 25, 48 e 72 meses de idade, nortearam os desbastes seletivos com intensidades variadas de seleção, tendo como base o ordenamento pelo valor genético aditivo e por observações de campo. Foram selecionadas 145 matrizes (3%) em 69 progênies (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Em uma segunda etapa de seleção, os 145 genótipos remanescentes foram avaliados no campo, para resistência aos cancros *Chrysoporthe cubensis* e *Coniothyrium zuluense*. Apenas 85 desses genótipos (58%) não apresentaram sintomas de infecção para os dois tipos de cancro. A população remanescente, composta por 85 genótipos, foi recombinada e será mantida até os 12 anos, ocasião em que serão colhidas sementes e os genótipos avaliados quanto à qualidade de madeira. A meta é a seleção de genótipos com coeficientes de anisotropia próximos ou menores que 1,5, a partir das avaliações das contrações radiais e tangenciais e da retratibilidade, que nortearão a seleção de madeira potencial à serraria (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Na seleção dos genótipos será considerada a idade em que houver significativa redução da madeira juvenil no tronco, expressada pelo aumento da espessura da parede e diminuição do lúmen das células. Os lotes de sementes serão utilizados para testes de progênies, visando à terceira geração de seleção. Nas 85 matrizes remanescentes foram selecionadas, em fevereiro de 2011, 18 matrizes, levando-se em consideração caracteres ligados ao crescimento e desempenho geral, das quais coletados propágulos vegetativos para a realização das respectivas enxertias. O objetivo foi estabelecer uma população de tamanho efetivo de N = 10 em pomar *in-door* e realizar cruzamentos de irmãos completos, por meio de delineamento dialélico parcial sem recíprocos, num total de 45 cruzamentos. As sementes dos cruzamentos permitirão o

estabelecimento de novos testes de progênies (irmãos completos). Com aplicação da estratégia de seleção recorrente intrapopulacional, uma nova população de melhoramento será obtida, sendo esta a terceira geração de seleção. Outro aproveitamento do germoplasma selecionado será oriundo de cruzamentos interespecíficos controlados.

Visando explorar a heterose para caracteres de importância econômica e adaptativa, *E. grandis* está incluída na relação de espécies prioritárias ao programa estratégico de hibridação (intra e interespecífica) e de polinização controlada da Embrapa Florestas. As principais espécies envolvidas nos cruzamentos com *E. grandis*, considerando produtividade e tolerância/resistência à seca e, ou ao frio, são fornecidas por Paludzyszyn Filho e Santos (2011).

A partir de 2005, as procedências: (i) Baldy S.F. 194 Atherton-QLD em Telêmaco, Borba; (ii) 12 km S of Revenshoe Mt. Pandanus-QLD em Barra do Ribeiro, RS; (iii) 27 km SE of Revenshoe-QLD em Guanhães, MG; (iv) 25-36 km SE of Mareeba-QLD; 20 km S of Atherton-QLD; Kenilworth S.F.-QLD; Beelthorpe S.F.-QLD; Wild Cattle Creek S.F./Dorrigo-NSW; Yabbra S.F./Urbenville-NSW; Knorrit S.F./Mt. George-NSW em Santa Bárbara, MG; (v) 25-36 km SE of Mareeba-QLD; 20 km S of Atherton-QLD em Uberaba, MG foram mantidas na forma de BAG, no respectivo programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Em 2007, a Embrapa Florestas requereu ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a inscrição da cultivar seminal de *E. grandis* (BRS 290), oriunda do pomar de sementes por mudas (progênies de polinização aberta) instalado em São Carlos, SP (Embrapa Pecuária Sudeste), no Registro Nacional de Cultivares.

A situação atual dessa espécie no programa de melhoramento genético conduzido pela Embrapa Florestas e parcerias está descrita no capítulo 2.

Eucalyptus urophylla

A rede experimental de *E. urophylla* estendeu-se à região Sudeste do Brasil, abrangendo os municípios de Ipatinga, MG (Cenibra Florestal S.A.), Dionísio, MG Companhia Agrícola Florestal Santa Bárbara - CAFSB/ArcelorMittal BioFlorestas), Curvelo, MG (Plantar Planejamento Técnico-Administrativo e Reflorestamento/ Grupo Plantar), Bofete, SP (Eucatex Florestal S.A) e Ibaté, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano). Setenta e oito progênies de duas procedências foram testadas nesses locais. Resultados de avaliações realizadas aos 36 meses de idade mostraram melhor desempenho da procedência Mt. Lewotobi-Flores em relação à procedência Mt. Egon-Flores, em Bofete, SP e Ibaté, SP.

O germoplasma de segunda geração de seleção proveio de progênies de polinização aberta, oriundas dessas duas procedências introduzidas pela Embrapa Florestas, em Minas Gerais e São Paulo, das quais foram coletadas sementes de 102 matrizes, tendo sido 90 delas avaliadas como progênies de meios-irmãos com a mesma metodologia empregada para *E. grandis*. Noventa entradas (progênies de polinização aberta)

foram estabelecidas em São Carlos, SP (Embrapa Pecuária Sudeste), 60 em Campo Grande, MS e 50 em Goiânia, GO, para serem recombinadas em segunda geração de seleção, oriundas de coletas de sementes realizadas em bancos de conservação genética-BC (72 árvores) e de matrizes (30 árvores) em PSM de primeira geração de seleção (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Em 1995, usando o programa Selegen-REML/BLUP, foram preditos os valores genéticos aditivos individuais para a orientação de desbastes seletivos, seleção de matrizes e estruturação de populações de melhoramento da rede experimental de eucaliptos da Embrapa Florestas e instituições parceiras. Em 1998, ocorreu o resgate de germoplasma-semente de segunda geração de seleção na rede experimental, para seis espécies prioritárias, entre as quais *E. urophylla* (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Em 2007, novas populações de *E. urophylla* (segunda geração) foram estabelecidas em Ponta Porã, MS, nas áreas da empresa Conflora Reflorestadora e na Embrapa Agropecuária Oeste. A estratégia da seleção recorrente intrapopulacional destinada ao melhoramento de *E. urophylla* objetivou a obtenção de genótipos como candidatos a clones comerciais e formar uma nova população, com aumento das frequências alélicas do caráter de interesse, por meio de sucessivos ciclos seletivos baseados em famílias de meios-irmãos. Com vistas à obtenção de candidatos a clones comerciais, foram selecionadas nove matrizes, as quais foram aneladas para obter os rebrotes. Para a obtenção de híbridos com genótipos selecionados de *E. grandis*, mudas dos clones foram instaladas em pomar fechado, em vasos para indução floral precoce e realização de polinizações programadas. Resultados de desbastes seletivos genéticos e sucessivas avaliações de crescimento, resistência ao cancro, tamanho populacional, entre outros dados foram fornecidos por Paludzyszyn e Santos (2011). O pomar de sementes por mudas de *E. urophylla* foi submetido ao corte raso, por ocasião da avaliação da qualidade da madeira de *E. grandis*.

Atualmente, não há ações de pesquisa previstas pela Embrapa Florestas, para o germoplasma de *E. urophylla*, face às significativas alterações no contexto comercial envolvendo a formação de mudas, passando do sistema seminal ao clonal, exceto àquelas previstas envolvendo a produção de híbridos interespecíficos, para as várias regiões do Brasil (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Eucalyptus deanei

A rede experimental de *E. deanei* estendeu-se às regiões Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Avaré, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano), Telêmaco Borba, PR (Klabin S.A.) e Guaíba, RS (Companhia Celulose do Sul - Riocell/CMPC Celulose Riograndense). Dez progênies de uma procedência australiana (Brother S.F/Glen Innes-NSW) foram testadas nesses locais. Resultados

de avaliações realizadas aos 60 meses de idade mostraram maior produtividade de madeira em Telêmaco Borba, PR, seguido por Guaíba, RS.

A partir de 2005, a procedência Brother S.F/Glen Innes-NSW estabelecida em Eldorado do Sul-RS (CMPC Celulose Riograndense) foi mantida na forma de BAG, no respectivo programa de conservação genética (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Eucalyptus viminalis

A rede experimental de *E. viminalis* estendeu-se às regiões Sudeste e Sul do Brasil, abrangendo os municípios de Telêmaco Borba, PR (Klabin S.A.), Campo do Tenente, PR (Empreendimentos Florestais Agloflora Ltda), Jaguariaiva-PR (Papel de Imprensa S.A.- BO Paper Pisa), Butiá, RS (Companhia de Celulose do Sul - Riocell/ CMPC Celulose Riograndense), Água Doce, SC, Catanduvas, SC, Irani, SC e Ponte Serrada, SC (Irani Papel e Embalagem S.A.), Chapecó, SC (Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária - Empasc), Otacílio Costa, SC (Igaras Agro-Florestal Ltda/ Klabin S.A.), Santa Cecília, SC (Papel e Celulose Catarinense - PCC/Klabin S.A.) e Itararé, SP (Ripasa S.A. Celulose e Papel/Grupo Suzano).

Cento e oitenta e uma progênies de oito procedências foram testadas nesses locais. Na região de Itararé, SP, resultados da análise de TC de *E. viminalis* (8 procedências/144 progênies), em avaliação realizada aos 40 meses de idade, mostrou bom desempenho de todas as procedências testadas, com volume sólido de madeira mostrando uma superioridade entre 17% a 97,7% em relação ao controle comercial crescendo em Canela, RS.

A procedência 43 km S of Bombala-NSW apresentou a maior produtividade de madeira, em avaliação realizada aos 60 meses de idade, em Santa Cecília, SC, Ponte Serrada, SC, Butiá, RS, Itararé, SP, Chapecó, SC e Campo do Tenente, PR, com valores decrescentes nessa ordem de locais. A procedência 16 km SW of Bendoc-NSW foi a segunda colocada em termos de produtividade de madeira, com valores decrescentes para Butiá, RS, Santa Cecília, SC, Chapecó, SC, Itararé, SP e Campo do Tenente, PR, na mesma idade considerada.

Para testes estabelecidos na região do planalto de Santa Catarina, a estratégia de seleção adotada na primeira fase do programa de melhoramento genético considerou apenas as características de crescimento das famílias e procedências. Na segunda fase, ambas as características foram consideradas como critérios de seleção. A posição de amostragem da madeira mais adequada na árvore foi a 50% da sua altura total, para a determinação da massa específica básica, sendo que os coeficientes de herdabilidade desse parâmetro mostraram valores subestimados para as amostras fora dessa posição.

Estudos de divergência genética entre seis procedências de *E. viminalis* foram conduzidos pela Embrapa Florestas*, c*om vistas a inferir sobre o potencial do material genético para a hibridação intraespecífica, por via dos métodos multivariados:

distâncias generalizadas de Mahalanobis" (com agrupamento segundo os métodos do vizinho mais próximo e de Tocher, além de teste de X^2 das distâncias, componentes principais (com dispersão gráfica dos escores das procedências referentes aos dois primeiros componentes) e variáveis canônicas (com dispersão gráfica e cálculo de distâncias euclidianas dos escores). Cerca de 252 a 450 indivíduos e de 14 a 25 progênies representaram as procedências 43 km S of Bombala-NSW, 16 km SW of Bendoc-VIC, 14 km SE of Bendoc-VIC, S. Brook S.F. Barrington Tops/Gloucester-NSW, Canoblas S.F./Orange-NSW, Nullo Mt. Mudgee-NSW e Warung S.F. Coolah-NSW. Pelo método de distância de Mahalanobis, não houve significância envolvendo as procedências Bombala e ambas de Bendoc, sendo que as demais distâncias foram significativas. Pelo Agrupamento vizinho mais próximo constatou-se, inicialmente pelos passos de agrupamento, a união das procedências Bombala e ambas de Bendoc, sendo que a procedência Canoblas S.F./Orange-NSW foi a última a se unir às demais. Esses resultados revelaram que, provavelmente, estas três procedências constituem uma mesma população e que Canoblas S.F./Orange-NSW é a procedência mais divergente das demais. A aplicação da técnica de componentes principais revelou um agrupamento bastante diferenciado daquele obtido por distâncias de Mahanolobis, que mostrou uma discrepância entre o agrupamento fenotípico e o genético. Na aplicação da técnica de variáveis canônicas houve a repetibilidade dos resultados obtidos por distância de Mahanolobis. A interpretação desses resultados permitiu inferir que: (i) a divergência genética não esteve associada com a divergência geográfica; (ii) as procedências Bombala, SW of Bendoc e SE of Bendoc podem ser reunidas em uma mesma população de melhoramento; (iii) se houver interesse, esforços para a obtenção de híbridos intraespecíficos devem ser realizados entre indivíduos selecionados na população composta por essas três procedências, e na procedência de Gloucester, as quais apresentaram maiores índices de produtividade e mostraram-se mais divergentes geneticamente (Resende, 1991[1]).

Ao respectivo programa de conservação genética da espécie, foram mantidas na forma de BAG, as populações procedentes de Bendoc-VIC/Austrália (16 km SW of Bendoc e 14 km SE of Bendoc) e a procedência 43 km S of Bombala-NSW pertencentes a três bancos de conservação da espécie, instalados nos municípios catarinenses de Catanduvas e Irani, que já foram submetidos a desbastes seletivos, com a manutenção dos melhores indivíduos e famílias, em termos de sobrevivência, crescimento e forma do tronco (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Durante os anos de estudos das populações de *E. viminalis*, em parceria com a Irani Papel e Embalagem S.A., novos conhecimentos foram obtidos, contribuindo para estimular o interesse em se plantar essa espécie. Tópicos de interesse geral, tais

[1] Relatório interno não publicado.

como adaptação às condições do meio, variabilidade genética e fenotípica, caracterização silvicultural e da madeira, potencial de aproveitamento industrial, fenologia reprodutiva e propagação vegetativa foram contemplados nas pesquisas. (Santos et al., 2020).

Referências

BRASIL. Presidência da República. **Decreto-Lei nº 289, de 28 de fevereiro de 1967**. Cria o Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/del0289.htm. Acesso em: 11 jan. 2021. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, em 28 fev. 1967.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 75.374, de 14 de fevereiro de 1975**. Aprova os novos Estatutos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/D75374impressao.htm. Acesso em: 11 jan. 2021. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, em 17 fev. 1975.

COLETA de sementes na Austrália, de espécies/procedências selecionadas de *Eucalyptus*, para melhoramento e conservação genética. Belo Horizonte: PNPF; Brasília, DF: EMBRAPA: IBDF, 1982. 104 p.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; RIBASKI, J. **Eucalipto no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. 42 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 276; Embrapa Florestas. Documentos, 297). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151702/1/SDC276.pdf.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de. Seleção de espécies/procedências do gênero *Eucalyptus* potenciais para o semi-árido do Brasil. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 2., 2006, La Serena, Chile. **Trabajos completos** [...]. La Serena: IUFRO; INFOR; FAO, 2006. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/34240/1/OPB703.pdf.

DUDA, L. L.; RESENDE, M. D. V. de: CANDIDO, H. C. S. Avaliação genética e seleção de *Eucalyptus grandis* na região de Arapoti-PR. **Revista Árvore**, v. 21, n. 4, p. 537-545, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Pesquisas florestais em andamento no Brasil**: terceiro levantamento. Curitiba, 1987a. 567 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Plano de ação**: Plano Diretor da Unidade-PDE 1988/1992. Colombo, [1987b]. 31 f. Programa Nacional de Pesquisa de Florestas - PNPF. Não publicado.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Plano Diretor da Unidade**: versão proposta (PDU1): [1992-1995 versão preliminar]. [Colombo, 1991]. 70 f. Não publicado.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Plano Diretor do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPF)**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 37 p.

EMBRAPA. **BDP@**: Base de Dados da Pesquisa Agropecuária. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária. Disponível em: http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/busca. Acesso em: 20 nov. 2013.

EMBRAPA. **Programa Nacional de Pesquisa de Florestas**. Curitiba: Embrapa-CNPF/IBDF, 1984. 42 p.

EMBRAPA FLORESTAS. **II Plano diretor da Embrapa Florestas**: 2008-2011-2023: Colombo, 2000. 39 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 53).

EMBRAPA FLORESTAS. **IV Plano Diretor da Embrapa Florestas 2008-2011**. Colombo, 2008. 20 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 169).

EMBRAPA FLORESTAS. **IV Plano Diretor da Embrapa Florestas: 2008-2011-2023**: revisão 2011. Colombo, 2011. 30 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 222).

EMBRAPA. Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro Sul. **Relatório de atividades 1978-82**. Curitiba, 1983. 232 p.

FAO. **FAO online catalogues**. Disponível em: http://www4.fao.org/cgibin/faobib.exe?vq_query=A%3DGolfari,%20L.&database=faobib&search_type=view_query_search&table=mona&page_header=ephmon&lang=eng. Acesso em: 20 nov. 2013.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da. ***Eucalyptus* para a região amazônica, Estados de Rondônia e Acre**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 116). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/312711/4/comtec116.pdf.

FERREIRA, M. A aventura dos eucaliptos. In: SCHUMACHER M. V.; VIEIRA, M. (org.). **Silvicultura dos eucaliptos no Brasil**. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2016. p. 11-46.

FERREIRA, M.; BALLONI, E. A.; PINTO JÚNIOR. J. E.; JACOB, W. S. Adaptabilidade de espécies, fontes de sementes e possibilidades de melhoramento de *Eucalyptus* em Minas Gerais. **Boletim Informativo IPEF**, v. 6, n. 16, p. E1-E42, 1978. Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf16.pdf.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, n. 45, p. 22-30, 1992. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr45/cap03.pdf. Acesso em: 18 nov. 2020.

FERREIRA, M. O histórico da introdução de espécies florestais de interesse econômico e o estado de sua conservação no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE CONSERVAÇÃO E USO DE RECURSOS GENÉTICOS FLORESTAIS, 2000, Paranaguá. **Memórias**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 159 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 56).

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. dos. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO de EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings**...= **Anais**... Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1, p. 14-34.

GALVÃO, A. P. M. Ações do Programa Nacional de Pesquisa Florestal da Embrapa no âmbito da conservação de recursos genéticos florestais. In: WORKSHOP SOBRE CONSERVAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS FLORESTAIS. PARANAGUÁ, 2000. **Memórias**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 67-74. (Embrapa Florestas. Documentos, 56). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40284/1/doc2

GALVÃO, A. P. M. **International cooperation on forestry research and development**: Brazil. Curitiba: EMBRAPA-CNPF; Oxford Forestry Institute, 1991. 122 p. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 22). 2.pdf.

GOLFARI, L; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. Aproximação)**. Belo Horizonte, Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado: PRODEPEF, 1978. 66 p. (PRODEPEF. PNUD/FAO/IBDF/BRA-45. Série técnica, 11).

GOLFARI, L.; CASER, R. L. **Zoneamento ecológico da região nordeste para experimentação florestal**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1977. 116 p.(PRODEPEF. Serie técnica, 10).

GOLFARI, L. Coníferas aptas para reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico IBDF**, n. 1, p. 1-71, 1971.

GOLFARI, L. Coniferas aptas para repoblaciones forestales en el estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 6, n. único, p. 7-62, 1967.

GOLFARI, L. **Ecological zoning for reforestation in subtropical and tropical regions**. Brasilia, DF: PRODEPEF-FAO, 1978a. 13 p. (FAO. Field Document, 25).

GOLFARI, L. Eucaliptos e coníferas potencialmente aptos para a região latitudinal tropical IPEF. **Boletim Informativo IPEF**, v. 4, n. 13, p. 24-35, 1976.

GOLFARI, L.; MOOSMAYER, H. **Manual de reflorestamento do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Banco de Desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro, 1980. 382 p.

GOLFARI, L.; PINHEIRO NETO, F. A. Escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para diferentes regiões do Brasil. **Brasil Florestal**, v. 1, n. 3, p. 17-38, 1970.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975, 65 p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA/71/545. Série técnica, 3).

GOLFARI, L. **Zoning for reforestation in Brazil and trials with tropical Eucalyptus and Pines in Central-Region**. [S.l.]: PNUD/FAO, 1978b. 25 p. (Project BRA/76/027. Technical report).

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V. de; KODAMA, A. S.; LAVORANTI, O. Programa de melhoramento de eucalipto na Embrapa. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...**= **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1, p. 377-385.

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V. de; SOUZA, S. M. de. Programas de melhoramento genético de *Eucalyptus* no Brasil. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL "O DESAFIO DAS FLORESTAS NEOTROPICAIS", 1991, Curitiba. **O desafio das florestas neotropicais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; Freiburg: Universidade Albert Ludwig, 1991. p. 86-100.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. de. Comportamento de vinte especies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. 1997a. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO de EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings**...= **Anais**... Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997a. v. 1, p. 106-110.

HOEFLICH, V. A.; GRAÇA, L. R.; LISBÃO JUNIOR, L. Avaliação econômica das tecnologias geradas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Florestas-CNPF da EMBRAPA, no período de 1978 a 1987. Curitiba, 1988. In: CONGRESSO FLORESTAL DO PARANA, 2., 1988, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: Instituto Florestal do Paraná, 1988. p. 44-68.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Centro Nacional de Informação Ambiental. **Biblioteca Digital de Meio Ambiente**. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/sophia/index.html. Acesso em: 23 nov. 2013.

IPEF importa sementes australianas e forma uma nova rede experimental. **Notícias**, 26 jul. 2012. Disponível em: https://www.ipef.br/noticias/?Session=31. Acesso em: 17 maio 2019.

IPEF. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. **IPEF Notícias**, n. 178, 12 p., 2006. Disponível em https://www.ipef.br/publicacoes/ipefnoticias/ipefnoticias178.pdf. Acesso em: 17 maio 2019.

IPEF. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Procedências de *Eucalyptus* spp introduzidas no Brasil por diferentes entidades. Piracicaba. 1984. **Boletim Informativo IPEF,** v. 10, n. 29. 159 p., 1984. Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf29.pdf

JACOBS, M. R. **Eucalypts for planting**. Rome: FAO, 1979. (FAO forestry series, 11).

KAGEYAMA, P. Y.; BALLONI, E. A.; PINTO JUNIOR, J. E.; JACOB, W. S. Adaptabilidade de espécies, fontes de sementes e perspectivas de melhoramento de Pinus em Minas Gerais. **Boletim Informativo IPEF**, v. 6, n. 16, p. H1-H15. 1978. Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf16.pdf.

LÖEFGREN, A. Notas sobre plantas exóticas introduzidas no Estado de São Paulo. **Revista Agrícola**, 1906. 220 p.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus* brassiana S. T. Blake no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003a. 8 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 103). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/24716/1/cot103.pdf.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003b. 9 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 102). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/24720/1/cot102.pdf.

MOURA, V. P. G.; CASER, R. L.; ALBINO, J. C.; GUIMARÃES, D. P.; MELO, J. T. de; COMASTRI, S. A. **Avaliação de testes de procedências de *Eucalyptus* em Minas Gerais e Espírito Santo**: resultados parciais. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1980. 104 p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de pesquisa, 1). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/549436/1/bolpd01.pdf.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2004. 12 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 111). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/28288/1/cot111.pdf.

MUCHOVEJ, J. J.; ALBUQUERQUE, F. C. de; RIBEIRO, G. T. Gmelina arbore a new host of *Ceratocystis fimbriata*. **Plant Disease Reporter**, v. 62. n. 8, p. 717-719, 1978. Disponível em: https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19781349225.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; PACHECO, A. R.; DITTMAR, H.; CORDEIRO, C. A. **Estratégias para o melhoramento de eucaliptos tropicais na Embrapa**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 29 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 99). Disponível em: http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc99.pdf.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas**: resultados e perspectivas. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 64 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 214). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47676/1/Doc214.pdf.

PINTO JÚNIOR, J. E.; FERREIRA, C. A. **A pesquisa florestal na Embrapa 1978-1993**: versão preliminar. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. (Embrapa Florestas. Documentos, 171). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/44072/1/doc171.pdf.

PRODEPEF. Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal. **As espécies/procedências, locais de instalação e dados iniciais de introdução de Pinus na Região Central do Brasil**. Brasília, DF, 1977. 23 p. (PRODEPEF. Indicações das Pesquisas em Desenvolvimento. Comunicação técnica, 8). Trabalho realizado através do Centro de Pesquisas Florestais da Região do Cerrado. PRODEPEF - Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal.

PRODEPEF. Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal. **As introduções de espécies/procedências de *Eucalyptus* realizadas pelo Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado-CPFRC**: resultados iniciais. Brasília: IBDF/ PNUD/FAO, 1976a. 75 p. (PRODEPEF. Série divulgação, 11).

PRODEPEF. Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal. Centro de Pesquisas Florestais da **Região de Cerrado**: programação técnica. Brasília, DF, 1976c. 155 p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA - 45. Série divulgação, 10).

PRODEPEF. Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal. **Laboratório de produtos florestais - Brasília**. Brasília, DF: 1976d. 36 p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA - 45. Série divulgação, 8).

PRODEPEF. Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal. **Relatório de atividades técnicas do Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado-CPFRC**: ano de 1974. Brasília: PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, 1975. 198 p. (PRODEPEF. Relatório interno).

REIS, C. F.; ASSIS, T. F. de; MELO, L. A. de; SANTOS, A. M. ***Eucalyptus cloeziana***: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 42 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 304). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161147/1/Doc-304-completo.pdf.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F. de; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. ***Corymbia citriodora***: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2013a. 57 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 255). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94547/1/Doc.-255-Reis-Ainfo1.pdf.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F. de; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. ***Corymbia maculata***: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2014a. 52 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 263). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114241/1/Doc.263-Reis.pdf.

REIS, C. A. F.; ASSIS, T. F. de; SANTOS, A. M.; PALUDZYSZYN FILHO, E. ***Corymbia torelliana***: estado da arte de pesquisas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2014b. 48 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 261). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113641/1/Doc.-261-Reis.pdf.

REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de teste clonal de eucaliptos multiespécies em Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO de MELHORAMENTO de PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. **Variedade melhorada**: a força da nossa agricultura: anais. Viçosa, MG: SBMP, 2013b. p. 487-490. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90881/1/CristianeR-CBMP-.

RESENDE, M. D. V. de; HIGA, A. R. Estratégias de melhoramento para eucaliptos visando a seleção de híbridos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 21, p. 49-60, 1990. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4884/1/resende1.pdf.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E.; MAGALHAES, W. L. E.; PIMENTEL, N. **Melhoramento genético de eucaliptos subtropicais**: contribuições para a espécie *Eucalyptus viminalis*. Colombo: Embrapa Florestas, 2020. 67 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 339). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1125379.

SANTOS, R. S.; GONÇALVES, R.; SILVA, N. dos A. Primeiro registro do besouro-amarelo-do-eucalipto em plantio de eucalipto no Estado do Acre. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 584-587, 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147386/1/26118.pdf.

SHIMIZU, J. Y. Melhoramento de espécies florestais na Embrapa. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO de ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba. [**Anais**...] Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 75-84. (Embrapa Florestas. Documentos, 62). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17066/1/doc56.pdf.

SHIMIZU, J. Y.; KAGEYAMA, P. Y.; HIGA, A. R. **Procedimentos e recomendações para estudos de progênies de essências florestais**. EMBRAPA/URPFCS. Curitiba,1982. 34 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 11). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/291025.

SOUZA, I. C. G. de S.; VIEIRA, I. G.; LIMA, K. de. **Resgate, conservação e fornecimento de materiais genéticos de *Eucalyptus* spp (raças locais) em diferentes regiões edafoclimáticas do Brasil**: relatório fase I. Piracicaba, 2005. 131 p. Disponível em: http://atividaderural.com.br/artigos/50ec67874f0e9.pdf. Acesso em: 21 maio 2019

SOUZA, S. M. de; RESENDE, M. D. V. de; SILVA, H. D. da; HIGA, A. R. Variabilidade genética e interação genótipo x ambiente envolvendo procedências de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, em diferentes regiões do Brasil. **Revista Árvore**, v. 16, n. 1, p. 1-17, 1992.

SOUZA, S. M. de; SILVA, H. D. da; PINTO JÚNIOR, J. E. Variabilidade genética e interação genótipo x ambiente em *Eucalyptus pilularis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 26/27, p. 3-16, 1993. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4902/1/ssousa.pdf.

Apêndice 1

Localização das coordenadorias do PNPF/Embrapa (período 1978-1993)

Região	Instituição	Local (Sede)	Pesquisadores
Norte	CPATU	Belém, PA	19
	CPAF-RO	Porto Velho, RO	2
	CPAF-AP	Macapá, AP	1
	CPAF-AC	Rio Branco, AC	1
Nordeste	CPATSA	Petrolina, PE	5
	Emparn	Natal, RN	2
	Epace	Fortaleza, CE	4
	Emepa	João Pessoa, PB	1
	CNPCajú	Fortaleza, CE	1
Centro-Oeste e Sudeste	CPAC	Planaltina, DF	3
	Epamig	Belo Horizonte, MG	3
	Empaer	Cuiabá, MT	2
	UFV	Viçosa, MG	1
Sul	CNPF	Colombo, PR	43
	Fupef	Colombo, PR	1
	Epagri (Empasc)	Florianópolis, SC	2
	Seab-RS	Porto Alegre, RS	1
Nacional	Coordenaçâo nacional PNPF	Brasília, DF (até Ago/84) Colombo, PR (Ago/84 a Dez/92)	2
Total			94

CNPF = Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Embrapa Florestas); FUPEF = Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná; CPAC = Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados; (Embrapa Cerrados) Epamig = Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; UFV = Universidade Federal de Viçosa-MG; Empaer = Empresa Matogrossense de Pesquisa,Assistência e Extensão Rural; CPATSA = Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido (Embrapa Semiárido); CPATU = Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (Embrapa Amazônia Oriental); CPAF = Centro de Pesquisa Agroflorestal de Porto Velho (Embrapa Rondônia)/Macapá (Embrapa Amapá)/Rio Branco (Embrapa Acre); CNPCaju = Centro Nacional de Pesquisa de Cajú(Embrapa Agroindústria Tropical); Epace/Empaer/Emparn/Emepa e Epamig = Empresas Estaduais de Pesquisa Agropecuária (respectivamente do Ceará, Mato Grosso, Rio Grande do Norte, Paraíba e Minas Gerais); Seab-RS = Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Rio Grande do Sul.

Apêndice 2

Instituições nacionais parceiras do PNPF-Embrapa (1978-1993)[2]

- Acesita Energética S.A. (MG)
- Agrofil S.A. (SP)
- Agro-Industrial Eldorado S.A. (MS)
- Agro-Industrial Sergipe (Grupo Votorantin) (SE)
- Agro-Territorial da Cidreira Ltda.
- Aracruz Florestal S.A. (ES)
- Associação Brasileira de Carvão Vegetal - Abracave (MG)
- Associação Catarinense de Empresas Florestais (SC)
- Associação Catarinense de Reflorestadores - ACR (SC)
- Associação dos Engenheiros Florestais de Santa Catarina (SC)
- Associação Gaúcha de Empresas Florestais - Ageflor (RS)
- Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose - Anfpc (SP)
- Associação Paranaense dos Engenheiros Florestais - Apef (PR)
- Associação Paranaense de Reflorestadores - Apre (PR)
- Associação dos Reflorestadores da Paraíba (PB)
- Bahia Sul Celulose S.A. (BA)
- Banco Bamerindus do Brasil S.A. (PR)
- Banco do Estado do Paraná-Banestado Reflorestadora (PR)
- Braskraft S.A. Florestal e Industrial (SP)
- Brasil Verde Reflorestamento e Pecuária Ltda. (GO)
- Bresolin Indústria e Comércio de Madeira Ltda. (PR)
- Brumasa Madeiras S.A. (BA)
- Cal Sublime (BA)
- Cambará Celulose S.A. (SC)
- Carbomil Química (BA)
- Celpav Florestal S.A. (SP)
- Celulate S.A.
- Celulose Catarinense (Celucat) S.A.(SC)
- Celulose Irani S.A. (SC)
- Celulose Nipo-Brasileira - Cenibra (MG)
- Cenibra Florestal S.A. (MG, ES)

[2] Algumas instituições podem ter tido sua razão social modificada ou não mais existirem

- Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia - Embrapa (DF)
- Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental - CPATU/Embrapa (PA)
- Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido - CPATSA/Embrapa (PE)
- Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental - CPAA/Embrapa (AM)
- Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC/Embrapa (DF)
- Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre - CPAF Acre/Embrapa (AC)
- Centro de Pesquisa Agroflorestal do Amapá - CPAF Amapá/Embrapa (AOP)
- Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia- CPAF Rondônia/Embrapa (RO)
- Centro de Pesquisa Agroflorestal de Roraima - CPAF Roraima/Embrapa (RR)
- Centro Nacional de Pesquisa de Agricultura Irrigada - CNPAI/Embrapa (PI)
- Centro Nacional de Pesquisa de Biologia de Solo - CNPBS/Embrapa (RJ)
- Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos - CNPCA/Embrapa (Ce)
- Centro Nacional de Pesquisa de Coco - CNPCO/Embrapa (SE)
- Centro Nacional de Pesquisa de Florestas - CNPF/Embrapa (PR)
- Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS/Embrapa (MG)
- Chamflora Agrícola Ltda (SP)
- Champion Papel e Celulose S.A.(SP)
- Cimetal Florestas S.A. (MG)
- Colégio Agrícola de Brasília - CAB (DF)
- Colégio Estadual “Presidente Costa e Silva” (PR)
- Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - Ceplac (BA)
- Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara - CAFSB (MG)
- Companhia Agroflorestal Monte Alegre-Cafma (Duratex Florestal S.A.) (SP)
- Companhia Agroindustrial Serra do Cabral (MG)
- Companhia Agroterritorial Cidreira Ltda. (RS)
- Companhia Brasileira de Frigoríficos - Frigobras (PR)
- Companhia de Celulose da Bahia (BA)
- Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - Codevasf (MG)
- Companhia Energética de São Paulo - Cesp (SP)
- Companhia Fabricadora de Papel - CFP
- Companhia Ferro Brasileiro S.A. (MG)
- Companhia Fiat Lux de Fósforos de Segurança S.A. (PR)
- Companhia Florestal Monte Dourado - Jari (PA)
- Companhia Industrial de Conservas Alimentícias S.A. - Cicanorte
- Companhia de Melhoramentos Norte do Paraná (PR)
- Companhia Melhoramentos de São Paulo (SP)
- Companhia Mineira de Papéis (MG)
- Companhia Paranaense de Energia Elétrica - Copel (PR)
- Companhia Reflorestadora Nacional - Cirena

- Companhia Reflorestadora Rio Escuro Ltda.
- Companhia Mineira de Papéis (MG)
- Companhia Sguario S.A. (SP)
- Companhia Siderúrgica Guanabara - Cosigua
- Companhia Suzano de Papel e Celulose (SP)
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (DF)
- Cooperativa Agrícola de Cotia - CAC (SP)
- Cooperativa Agrícola Mourãoense - Coamo (PR)
- Cooperativa Central Agropecuária do Paraná (PR)
- Cooperativa Tritícola de Erechim - Cotrel
- Copene Energética S.A. - Copener (BA)
- Coque e Álcool de Madeira S.A.- Coalbra (MG)
- Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS
- Duraflora Silvicultura e Comércio Ltda. (SP, BA).
- Duratex Florestal S.A. (SP)
- Duratex S.A.(SP)
- Eletro - Siderurgica Marquesa S.A.
- Embrasca - Empreendimentos Florestais e Agrícolas Ltda. (SC)
- Embrater - Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural
- Empreendimentos Florestais e Agrícolas Ltda. (PR)
- Empreendimentos Florestais Agroflora Ltda.
- Empreendimentos Florestais S.A. - Flonibra (BA)
- Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Paraná - Emater/PR (PR)
- Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Santa Catarina - Emater/SC (SC)
- Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária - Encapa (ES)
- Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária - Epagri (SC)
- Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária - Engopa (GO)
- Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária - Emapa (MA)
- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado da Bahia - Epaba
- Empresa de Pesquisa Agropecuária da Paraíba - Emepa (PB)
- Empresa de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco - IPA
- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro - Pesagro (RJ)
- Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Epamig (MG)
- Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado do Mato Grosso (MT)
- Empresa de Assistência Técnica e Extensão de Minas Gerais - Emater (MG)
- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará - Epace (CE)
- Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - Emparn (RN)
- Ervateira Etelvino Picolo/Indústrias Barão (RS)

- Ervateira Regina Ltda. (SC)
- Escola Superior de Agricultura de Lavras - Esal (MG)
- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Esalq/USP (SP)
- Escola Superior de Agricultura de Mossoró - Esam (RN)
- Escola Superior de Agricultura de Paraguaçu Paulista - Esapp
- Estação Experimental de Silvicultura de Santa Maria - Seab (RS)
- Eucatex S.A. Indústria e Comércio/Eucatex Florestal Ltda (SP)
- Eucatex Florestal Ltda (SP)
- Faculdade de Ciências Agrárias do Pará - FCAP (PA)
- Fazenda Lageado S.A. (SP)
- Financiadora de Estudos e Projetos - Finep (DF)
- Financiadora de Projetos e Estudos - Fipec
- Financial Empreendimentos Florestais S.A. (MS)
- Florest Invest S.A. (MS)
- Florestadora Perdizes Ltda. (MG)
- Florestadora do Sul Ltda. - Flosul (RS)
- Florestal Acesita S.A. (MG).
- Florestal Guaíba/Riocell/Atual CMPC Celulose Riograndense (RS)
- Florestal Matarazzo S.A. (SP)
- Florestamento Integrado S.A. - Florin (SP)
- Florestas Rio Doce S.A.(MG)
- Freudenberg Agroflorestal Ltda (SP).
- Fundação de Amparo À Pesquisa e Extensão Universitária - Fapeu (SC)
- Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiróz" - Fealq/USP (SP)
- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - Cetec (MG)
- Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura - FCPC (CE)
- Fundação Instituto Agronômico do Paraná - Iapar (PR)
- Fundação "O Boticário" (PR)
- Fundação Laudelina Pereira
- Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - Fupef (PR)
- Fundação de Tecnologia do Estado do Acre - Funtac (AC)
- Fundação Zoobotânica do Distrito Federal - FCDF (DF)
- Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (RS)
- Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA (DF)
- Giacomet Marodin Indústria de Madeira S.A. (PR)
- Hoppen & Petry Ltda. Agroindustria (RS)
- Ici Florestal e Agropecuária S.A. (MG)
- Igaras Produtos Florestais Ltda. (PR)
- Igaras Agroflorestal Ltda. (PR)
- Inca-Rebrace Reflorestadora do Brasil Central Comércio e Indústria Ltda (GO)

- Inasa (MG)
- Indústria Brasileira de Madeiras S.A. - Ibema (PR)
- Indústria e Comércio Em Minérios - Icomi
- Indústrias Wagner S.A. (PR)
- Instituto Agronômico de Campinas - IAC (SP)
- Instituto Agronômico do Paraná - Iapar (PR)
- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF/MA (DF)
- Instituto Brasileiro Em Ciência de Informação e Tecnologia - Ibict
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Desenvolvimento Florestal - Ibama (DF)
- Instituto Florestal do Estado de São Paulo - IF (SP)
- Instituto Estadual de Florestas- IEF (MG)
- Instituto do Meio Ambiente do Acre - Imac (AC)
- Instituto Nacional de Meteorologia - Inemet
- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Inpa (AM)
- Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - Ipef (SP)
- Instituto de Pesquisas e Recursos Naturais Renováveis “Ataliba Paz” - IPRNR-AP (RS)
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (SP)
- Instituto Pernambucano de Pesquisa Agropecuária - IPA (PE)
- Instituto de Tecnologia do Amazonas - Utam (AM)
- Instituto de Terras, Cartografia e Florestas do Estado do Paraná - ITCF (PR)
- Irani Celulose S.A.(PR)
- Itaipu Binacional (PR)
- Itapetinga Agroindustrial (CE)
- Itapetininga Agroindustria S.A. (RN)
- Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RJ)
- Jari Celulose S.A. (PA)
- Johann Faber (SP)
- Klabin do Paraná Agroflorestal S.A. (PR)
- Klabin S.A. (PR)
- Labra (SP)
- Leão Júnior S.A./Matte Leão Reflorestamento S.A. (PR)
- Macasa-Madeiras Acara S.A. (PA)
- Magnesita S.A. (BA)
- Manasa – Madeireira Nacional S.A. (PR)
- Mannesmann Agroflorestal Ltda. (MG)
- Manville Produtos Florestais S.A. - Igaras (SC)
- Minas Seiva Reflorestamento S.A. (MG)
- Mineração Brasileira S.A. (MG)
- Mineradora Caraíba Metais

- Mineradora São Jorge (PE)
- Modo-Battistella Reflorestamento S.A. (SC)
- Museu Paraense Emilio Goeldi (PA)
- Olinkraft Celulose e Papel S.A. (SC)
- Openflora Reflorestadora e Agropecuária S.A. (Duratex Florestal S.A.) (BA)
- Organizações das Cooperativas do Estado do Paraná - Ocepar (PR)
- Papel de Imprensa S.A. - Pisa (PR)
- Papel e Celulose Catarinense S.A. - PCC (SC)
- Papéis Ondulados do Nordeste S.A. - Ponsa (Indústrias Klabin) (PE)
- Petróleo Brasileiro S.A./Repar (PR)
- Pisa Florestal S.A. (PR)
- Placas do Paraná S.A. /Agloflora Ltda. (PR)
- Plantação Agroflorestal S.A. (MG)
- Plantar-Planejamento Técnico-Administrativo e Reflorestamento (MG)
- Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR (PR)
- Prefeitura Municipal de Juazeiro (BA)
- Prefeitura Municipal de Palmas (PR)
- Proflora S.A. - Florestamento e Reflorestamento (MG)
- Reflora-Reflorestadora e Agrícola Baiana S.A. (BA)
- Reflorest Invest S.A.
- Reflorestadora e Agrícola (Reflora) S.A. (BA)
- Reflorestadora Cerâmica do Paraná Ltda. - Recepar (PR)
- Reflorestadora Potiguar (Rn)
- Reflorestadora Ramires S.A.
- Reflorestadora Riograndense Ltda. (RN)
- Reflorestadora Zugmann (SC)
- Reflorestadora Sacramento Ltda. - Resa (PB)
- Rica Flora Agroflorestal Ltda. (PB)
- Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda. (SC)
- Rio Grande Companhia de Celulose do Sul - Riocell (RS)
- Ripasa S.A. - Celulose e Papel (SP)
- Sadia Concórdia S.A. - Indústria e Comércio (SC)
- Santa Isabel Agroflorestal Ltda (PA)
- Secretaria Especial de Ciência e Tecnologia - SECT (DF)
- Secretaria Especial de Assuntos do Meio Ambiente - SEA (MA)
- Secretaria do Meio Ambiente - Seman (DF)
- Seiva S.A. - Florestas e Indústrias (MS)
- Seiva Cifsul S.A. (Companhia de Indústrias Florestais do RS
- Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - SNLCS/Embrapa
- Serviço de Produção de Sementes Básicas - SPSB/Embrapa (DF)

- Siderúrgica Brasileira - Sibra Florestal S.A. (BA)
- Siderúrgica União S.A. (SP)
- Slaviero Florestal S.A. (PR)
- Sociedade Agrícola Santa Helena (SP)
- Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais - SBEF (DF)
- Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS (SP)
- Sociedade de Investigação Florestal -SIF (MG)
- Sociedade Paranaense de Ensino e Informática - SPEI (PR)
- Sudam-Superintendência de Desenvolvimento do Amazonas
- Sudene-Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
- Tanac S.A.-Indústria de Tanino - Tanagro (RS)
- Torras Brasil S.A. (BA)
- TranSParaná Florestal S.A. (MS)
- Triflora-Triângulo Florestadora S.A. (MG)
- Trombini Florestal S.A. (PR)
- Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual-Uepae de Teresina/Embrapa (PI)
- Uniflora - Empresa de Reflorestamento e Comércio de Produtos Agrícolas Ltda (MS)
- Universidade de Brasília - UNB (DF)
- Universidade de São Paulo - USP (SP)
- Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita” - Unesp (SP)
- Universidade Federal do Acre - UFAC (AC)
- Universidade Federal do Ceará - UFCE (CE)
- Universidade Federal da Paraíba - UFPB (PB)
- Universidade Federal do Paraná - UFPR (PR)
- Universidade Federal de Pelotas - UFPEL (RS)
- Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (SC)
- Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (RS)
- Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE (PE)
- Universidade Federal e Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (RJ)
- Universidade Federal de Viçosa - UFV (MG)
- Universidade de São Paulo - USP (SP)
- Votorantim Celulose e Papel Ltda. (SP)

Apêndice 3

Instituições internacionais parceiras do PNPF-Embrapa (1978-1993)[3]

- Agricultural Canada And Forestry Canada - ACFC
- Agricultural Research Center - ARC (Egito)
- Canadian International Development Agency - CIDA
- Central America and Mexico Coniferous Resource Cooperative - CAMCORE (USA)
- Centre Technique Forestier Tropical - CTFT (França)
- Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE (Costa Rica)
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation - CSIRO (Austrália)
- Danish International Development Agency - DANIDA (Dinamarca)
- Department For International Development (DFID)
- Department of Silviculture and Management / MFPRC (República da China)
- Deutsche Gesellschaft Fur Technische Zusamennarbeit - GTZ (Alemanha)
- Eureka Software Factory - ESF
- Finnish International Development Agency - FIDA (Finlândia)
- Food and Agriculture Organization of The United Nations - FAO (Itália)
- Governo da Argentina
- Governo das Filipinas
- Governo do Irã
- Governo da Tunísia
- International Centre For Research On Agroforestry - ICRAF
- International Development Research Centre - IDRC
- Institute Agronomique Mediterrannes Montpellier (França)
- Instituto Colombiano de Investigaciones Agropecuaria - ICA (Colombia)
- Instituto Forestal de Chile - INFOR (Chile)
- Instituto Interamericano de Cooperação Agrícola - IICA (Colombia)
- Interamerican Development Bank - BID (Estados Unidos)
- International Bank For Reconstruction and Development - BIRD (Estados Unidos)
- Internacional Council For Research In Agroforestry - ICRAF (Nairobi)
- International Development Research Centre - IDRC (Canadá)
- International Timber Trade Organization - ITTO (Japão)
- International Union of Forest Research Organizations - IUFRO (Áustria)
- Japan International Cooperation Agency - JICA (Japão)

[3] Algumas instituições podem ter tido sua razão social modificada ou não mais existirem.

- Japan Overseas Forestry Consultants Association - JOFCA (Japão)
- Kreditanstalt Fur Wiederaufbau - KFW (Aemanha)
- Ministério de Agricultura da Nicaragua
- Ministério de Relações Exteriores do Governo do Senegal
- National Aeronautics and Space Administration - NASA
- Nitrogen-Fixing Tree Association - NFTA (Estados Unidos)
- North Carolina State University - NCSU (Estados Unidos)
- Oregon State University - OSU (Estados Unidos)
- Oxford Forestry Institute - OFI (Reino Unido)
- Overseas Development Agency - ODA
- Programa Cooperativo Pesquisa e Transferência de Tecnologia (Procitrópicos)
- Purdue University (Estados Unidos)
- Rothamstead Experiment Station - RES (Reino Unido)
- Rutgers University (Estados Unidos)
- South Africa Forest Institute - SAFI (África do Sul)
- Tropical Agriculture Research Center - TARC
- United Kingdom Overseas Development Administration-UK-ODA-Oxford (Reino Unido)
- United Nations Development Programe - UNDP (Estados Unidos)
- United States Department of Agriculture - USDA
- Universidade Eduardo Mondlane (Moçambique)
- Universidade de Freiburg (Aemanha)
- Universidade de Laval
- Universidade de Missiones (Argentina)
- University of Brunei
- University of Canterbury (Nova Zelândia)
- University of Florida (Estados Unidos)
- University of Oxford (Reino Unido)
- University of Toronto (Canadá)
- Universidad Nacional de Assuncion (Paraguai)
- U.S. Forest Service - USFS (Estados Unidos)
- World Wildlife Fundation - WWF (Suíssa)

2

Melhoramento genético e lançamento de cultivares

Paulo Eduardo Telles dos Santos
Estefano Paludzyszyn Filho
Jorge Ribaski
Marcos Antônio Drumond
Visêldo Ribeiro de Oliveira

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Os primórdios das pesquisas com eucaliptos na Embrapa remontam a década de 1970 com a estruturação do Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (Prodepef, convênio UNDP/FAO/IBDF/BRA-45), o qual perdurou por cinco anos, entre 1973 e 1978. Durante esse período, peritos da Food and Agriculture Organization (FAO), juntamente com técnicos brasileiros, implantaram diversos experimentos que, após serem devidamente avaliados e analisados, serviram de base para o desenvolvimento das atividades do Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF), decorrente do convênio Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e Embrapa, firmado em abril de 1977 e posto em prática a partir do ano seguinte (Galvão, 2001; Shimizu, 2001; Pinto Júnior; Ferreira, 2008). Os anos de 1973 e de 1978 remetem, respectivamente, à criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) mediante Decreto Presidencial assinado em 26 de abril (Cabral, 2005) e à inauguração, em 23 de março de 1978, da Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (atual Embrapa Florestas) em Colombo, estado do Paraná, aproveitando a estrutura pré-existente do antigo Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária Meridional, órgão do Instituto de Pesquisa e Experimentação do Sul, entidade originalmente dedicada à pesquisas com espécies agrícolas de aptidão ao clima frio (Pichelli, 2008).

Contribuições relevantes da Embrapa nas áreas de genética e melhoramento de eucaliptos se deram logo no início da década de 1980, em que se discutiu a reintrodução de germoplasmas de eucaliptos considerados estratégicos para o País, culminando com o lançamento do "Projeto *Eucalyptus*", de abrangência nacional, em outubro de 1982. Sob a coordenação técnica do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPF - Embrapa Florestas), firmaram-se parcerias com empresas privadas, universidades, instituições de pesquisa florestal como o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef) e o Instituto Florestal do Estado de São Paulo (IF) e também com empresários do agronegócio para a viabilização dos trabalhos de experimentação no campo que se seguiriam. A expedição de coleta de material genético de eucaliptos foi efetivamente empreendida à Austrália em 1983-1984 mediante a cooperação firmada com a Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), resultando na coleta de aproximadamente 1.050 matrizes de 11 espécies, perfazendo um total de 56 diferentes origens geográficas. Germoplasmas das espécies *E. grandis*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. cloeziana*, *E. pellita*, *E. maculata* (posteriormente denominada *Corymbia maculata*), *E. pilularis*, *E. resinifera*, *E. viminalis* e *E. deanei* foram contemplados (Higa et al., 1997; Pinto Júnior et al., 2013). Nessa oportunidade, sementes de duas populações de *E. urophylla*, coletadas na Indonésia em outra incursão organizada pelo CSIRO, foram incorporadas a esse conjunto de materiais, as quais foram, posteriormente, agregadas ao lote maior e encaminhadas ao Brasil

(Comunicação pessoal, 2019[1]), resultando ao final 12 espécies e 58 origens geográficas.

Esse esforço coletivo resultou na instalação de uma rede contendo 247 experimentos, compostos por testes de progênie e bancos de conservação, distribuídos em 64 municípios, em nove estados (Higa et al., 1997).

Essas introduções, juntamente com outros acessos que foram trazidos ao Brasil por iniciativas da Embrapa em diferentes épocas, isoladamente ou por meio de parcerias com o setor privado, viabilizaram a estruturação de programas de melhoramento genético que resultaram em enormes benefícios ao setor de florestas plantadas nacional. Exemplos são as introduções de *E. dunnii* em 1978, *E. benthamii* em 1986 e em 2005, *E. badjensis* em 1995, *E. pellita* em 2007 e *E. crebra* em 2011, entre outras.

Os últimos anos da década de 1980 e boa parte da década de 1990 foram caracterizados por intensa avaliação de campo, processamento e análise estatística de dados, elaboração de relatórios técnicos e reuniões de trabalho. Os resultados foram sendo compilados e divulgados por meio de diversos tipos de publicações técnico-científicas.

Na década de 2000, o Programa de Melhoramento Genético de Eucaliptos da Embrapa foi orientado por estratégias como: i) melhoramento genético de populações de espécies subtropicais para a produção de sementes; ii) desenvolvimento do germoplasma melhorado de segunda geração de seleção genética no País; iii) obtenção de germoplasma híbrido interespecífico a partir de genitores de segunda geração de seleção (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011).

Com a mudança gradativa no cenário de produção de mudas seminais para clonais, as estratégias passaram a ser: i) a expansão das bases de melhoramento acompanhando tendências do agronegócio brasileiro; ii) seleção de germoplasma de híbridos interespecíficos aptos para propagação clonal; iii) fomento à ampliação de parcerias público-privadas para o desenvolvimento do germoplasma e lançamento de cultivares; iv) incremento do uso de metodologias para qualificação do genoma associado às características de crescimento e de qualidade da matéria-prima para múltiplos usos.

Pesquisa e desenvolvimento florestal nas regiões frias do Sul

Os plantios de eucalipto localizados em altitudes elevadas do Sul do Brasil diferem das demais regiões produtoras nacionais pelo restrito número de materiais

[1] Comunicação telefônica do engenheiro florestal Roberto Alonso Silveira, o qual participou da expedição à Austrália em 1983-1984, para o pesquisador Paulo Eduardo Telles dos Santos, da Embrapa Florestas, em 25/05/2019.

genéticos disponíveis comercialmente. Como os germoplasmas invariavelmente devem ser adaptados para suportar frios intensos associados a quedas bruscas de temperatura e a geadas de forte intensidade, há limitações em termos de opções de espécies apropriadas para a produção de madeira. As suas utilizações são diversificadas, muito embora haja prevalência para fins energéticos na forma direta (combustão da madeira, representada por lenha ou transformada em cavaco) e para a obtenção de peças roliças destinadas a usos gerais dentro e fora das propriedades rurais.

O cultivo de eucaliptos na região Sul do Brasil apresenta particularidades que o torna diferenciado comparativamente ao praticado em outras regiões do território nacional. O rigor climático e a dificuldade de se trabalhar com clones, entre outros aspectos, atuam desfavoravelmente.

Graças às iniciativas pioneiras efetuadas pela Embrapa Florestas, diversas unidades experimentais para as espécies de eucalipto potenciais foram implantadas há pouco mais de três décadas em várias localidades da região Sul, a maioria delas mediante o estabelecimento de parcerias com empresas privadas. As espécies eleitas foram *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. badjensis* e *E. viminalis*, as quais serão detalhadas individualmente. Especificamente para a espécie *E. deanei*, as ações se limitaram à conservação genética por meio da manutenção de Bancos Ativos de Germoplasma (BAGs), em função da menor adaptação às regiões de maior vocação florestal comparativamente às espécies tradicionalmente plantadas.

O objetivo primordial da rede experimentos foi fornecer indicativos seguros sobre a adaptação das diferentes espécies às condições de solo e clima e, também, sobre o potencial produtivo de madeira, de modo a orientar esforços subsequentes à estruturação de programas de melhoramento genético.

As prioridades do melhoramento genético para as quatro espécies consideradas estratégicas, em termos de características, foram classificadas em quatro categorias, conforme seguem:

- Caracteres de crescimento das árvores: diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume de madeira, os quais refletem suas taxas de crescimento.
- Características silviculturais das árvores: retidão do fuste, quantidade e espessura de galhos, circularidade na base do fuste e sanidade.
- Caracteres tecnológicos da madeira para polpação e carvoejamento: densidade básica, poder calorífico superior, teor de lignina Klason, teor de lignina solúvel, teor de açúcares, teor de extrativos e teor de cinzas.
- Caracteres tecnológicos da madeira para processamento mecânico: módulo de resistência à compressão, cisalhamento, tração, dureza e retração volumétrica.

Esse conjunto de atributos atende a grande maioria das necessidades buscadas nas árvores e nas aplicações pretendidas a partir da madeira produzida.

Eucalyptus dunnii

A espécie *E. dunnii* foi uma das primeiras a serem introduzidas e pesquisadas após a criação da Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (atual Embrapa Florestas) em 1978. Diferentemente de outras espécies de distribuição mais ampla na Austrália, verificou-se que o desempenho em campo no Brasil era muito semelhante entre procedências, para crescimento e caracteres silviculturais (Pereira et al., 1986; Pires; Parente, 1986). Resultados reportados na literatura foram muito consistentes em afirmar que inexistem diferenças significativas entre procedências, com base em experimentos conduzidos em países como Argentina, China e Austrália (Marco; Lopez, 1995; Wang et al., 1999; Arnold et al., 2004).

A Embrapa, consequentemente, conduziu os trabalhos de melhoramento genético e produção de sementes desconsiderando o efeito de procedência geográfica. A espécie é indicada para regiões de clima subtropical a temperado com temperaturas mínimas absolutas de até -5 °C, desde que as plantas sejam submetidas a condições de aclimatação prévia por gradual abaixamento de temperatura na estação fria (Paludzyszyn Filho et al., 2006). Para o seu pleno desenvolvimento, é preferível efetuar o plantio no início da primavera em locais sob condições de temperatura média anual entre 12 °C e 22 °C, condições estas que ocorrem comumente nos estados da região Sul do Brasil, em localidades com altitudes de 800 m a 900 m e sem a ocorrência de geadas severas.

A densidade básica da madeira se enquadra no agrupamento de espécies de madeira de média densidade (ao redor de 500 kg/m^3) e vem sendo empregada para fins energéticos, em estruturas leves e na fabricação de celulose. Possui boa aptidão para a manufatura de painéis do tipo compensado.

Em Colombo, PR (latitude 25°20’04”S, longitude 49°09’35”O e altitude 928 m), a Embrapa Florestas instalou e manejou uma população de primeira geração de seleção estruturada no formato de teste de procedências. O plantio ocorreu em fevereiro de 1979 e ocupou uma área de 1,46 ha. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, contendo três procedências, 28 repetições e parcelas retangulares de 25 plantas, espaçadas entre si de 3 m x 2 m (Montagner et al., 1984). O clima no local do experimento, sempre úmido, é do tipo Cfb, segundo Köppen. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 10 °C, ocorrendo mais de cinco geadas anuais. O solo, de baixa fertilidade, caracteriza-se como Cambissolo com horizonte A proeminente (Pereira et al., 1986). Os detalhes dos materiais genéticos introduzidos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Descritivo dos materiais genéticos de *Eucalyptus dunnii* utilizados na composição do teste de procedências instalado em Colombo, PR.

Procedência geográfica	Número de matrizes colhidas	Coordenada geográfica		
		Latitude (S)	Longitude (L)	Altitude (m)
Urbenville, New South Wales (NSW)	6	28°28’	152°32’	350
Moleton, NSW	Desconhecido	30°10’	152°10’	430
Dorrigo, NSW	4	30°28’	152°42’	700

Fonte: Montagner et al. (1984).

Com o passar dos anos, o teste de procedências foi sendo convertido em “Área de Coleta de Sementes com Matrizes Selecionadas (ACS-MS)”, mediante seleção massal fenotípica gradativa efetivada por meio de desbastes seletivos aplicados em 1985, 1990 e 1998, com base na taxa de crescimento, forma do fuste, resistência ao frio e tolerância a doenças. Houve produção durante muitos anos de grande quantidade de sementes para abastecimento de viveiros de produção de mudas destinadas à formação de plantações comerciais. Levantamentos efetuados nos registros de comercialização de sementes pela Embrapa atestam que foram colhidas e comercializadas, entre os anos de 1992 e 2007, um total de 150 kg de sementes, suficientes para a formação de 10 a 20 mil hectares de plantações. Atualmente, a área se encontra desativada no que se refere às pesquisas de melhoramento genético e, também, como fonte de sementes melhoradas, tendo-se notado significativa diminuição do vigor geral das árvores decorridos 40 anos.

Na continuidade do melhoramento foram colhidas, na década de 1990, sementes das 60 melhores árvores dessa área e, em 1994, instalou-se um teste de progênies de segunda geração em Ponta Grossa, PR e, posteriormente, em 2003, outros dois experimentos semelhantes nas localidades rio-grandenses de Bagé e Carazinho (Paludzyszyn Filho; Santos, 2005). Estes últimos, porém, em função de apresentarem algumas restrições, em termos de desenvolvimento e de delineamento de campo, não foram trabalhados com a mesma intensidade daquele do Paraná.

O teste de progênies, implantado no ano de 1994 em Ponta Grossa, PR (latitude 25°08’56”S, longitude 50°03’28”O e altitude 930 m) ocupou 3,24 ha de área em propriedade pertencente à Embrapa. O experimento foi estruturado com 71 progênies e uma testemunha formada pela mistura destas, as quais foram distribuídas em nove blocos. Esse ensaio converteu-se em Área de Produção de Sementes (APS) e representou a segunda geração de melhoramento desenvolvida pela Embrapa. Os melhores indivíduos da população foram responsáveis pela produção de sementes, tendo sido registrada uma produção acumulada em torno de 5 kg.

Em função de determinações legais estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para a comercialização de sementes, houve necessidade da Embrapa inscrever suas áreas produtoras de sementes no Registro Nacional de

Cultivares (RNC), o que efetivamente ocorreu somente no ano de 2007, muito embora praticamente todo o montante comercializado desde o início da produção de sementes já tivesse ocorrido em anos anteriores. Nesse sentido, foram inscritas no RNC as cultivares BRS 7901 (procedência Colombo, PR) e a BRS 9402 (procedência Ponta Grossa, PR) sob os números 22026 e 22024, respectivamente.

Alguns resultados obtidos na caracterização tecnológica de madeira proveniente de árvores jovens são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 4,5 anos de idade a partir de amostras obtidas no teste de procedências de Colombo, PR.

Procedência geográfica	Características da madeira					
	Densidade básica (g/cm³)	Teor de lignina (%)	Rendimento em carvão (%)	Teor de carbono fixo (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)
Urbenville, NSW	0,454	21,82	30,92	82,12	15,32	2,30
Moleton, NSW	0,441	22,48	31,75	80,67	15,43	1,99
Dorrigo, NSW	0,438	22,85	31,30	81,47	16,16	2,38

Observação: As análises estatísticas dos resultados não revelaram diferenças significativas entre as médias de procedências ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos não revelaram diferenças estatísticas significativas, entre as procedências, para as referidas características da madeira estudadas. Depreendeu-se, portanto, mais uma vez, que estas não justificariam a separação de árvores superiores por procedência durante a seleção.

Eucalyptus benthamii

O programa de melhoramento genético de *E. benthamii* realizado pela Embrapa completou 31 anos, sendo o primeiro campo experimental dessa espécie (0,5 ha) estabelecido em Colombo, PR (latitude 25°19’23”S, longitude 49°09’24”O e altitude 957 m) em 1988. Os sucessivos desbastes permitiram transformar essa área na categoria “Área de Coleta de Sementes com Matrizes Selecionadas (ACS-MS)”, contendo 90 árvores atualmente. Esta área foi registrada em 2007 no RNC sob o número 20025, representando o campo de sementes da cultivar BRS 8801. Um segundo campo de produção de sementes, originário deste último, está localizado em Ponta Grossa, PR (latitude 25°10’00”S, longitude 50°05’09”O e altitude 843 m). Esta área de produção de sementes (1,09 ha, 160 plantas) foi formada pelo plantio de clones, obtidos por estaquia, de 16 árvores selecionadas aos oito anos de idade, para taxa de crescimento, forma do fuste e sanidade, sendo, portanto, da mesma geração da ACS de Colombo, porém, com sementes de maior grau de melhoramento que

a cultivar citada anteriormente. A denominação comercial desta área produtora de sementes foi BRS 9801, ficando situada dentro da categoria Área de Produção de Sementes Clonal (APSC). O número de registro do material no RNC foi 22023, tendo o pedido sido deferido em 2007.

A espécie *E. benthamii* tem sido indicada para plantio na região Sul do Brasil em altitudes que variam de 800 m a 1.400 m, normalmente propensas a geadas de até -6 °C. Avaliações tecnológicas da madeira mostraram preponderantemente aptidão para fins energéticos e para obtenção de peças roliças destinadas a uso geral na propriedade rural.

Como a população originalmente introduzida no Brasil (Wentworth Falls, NSW, Austrália, latitude 33°48'S, longitude 150°24'L e altitude 150 m) possuía uma base genética estreita (entre 7 e 10 árvores), a Embrapa decidiu envidar esforços para ampliá-la. Para isso, 30 progênies de polinização aberta de Kedumba Valley, NSW (latitude 33°49'S, longitude 150°23'L e altitude 140 m), seis de Bents Basin, NSW (latitude 33°52'S, longitude 150°38'L e altitude 40 m) e também lotes de sementes em *bulk* de Crossley Seedling Seed Orchard (latitude 33°28'S, longitude 145°00'L e altitude 90 m) e Seedling Seed Orchard Barclays Deniliquin (latitude 35°01'S, longitude 145°13'L e altitude 100 m) foram importados da CSIRO em 2005, contribuindo para se dispor de uma base genética apropriada para o programa institucional de seleção recorrente para melhorar adaptação, taxa de crescimento e qualidade da madeira.

Desde então, a Embrapa firmou um contrato de cooperação técnica com a empresa Golden Tree Reflorestadora, a qual possui suas estruturas operacionais e áreas experimentais distribuídas nos municípios paranaenses de Guarapuava, Entre-Rios e Candói. A parceria possibilitou avançar o programa de melhoramento com vistas à obtenção de sementes melhoradas e ao desenvolvimento de clones para o mercado.

Para avaliar o desempenho dessas novas introduções, dois testes de progênies foram estabelecidos no estado do Paraná em 2007, nas localidades de Ponta Grossa (latitude 25°10'10"S, longitude 50°03'45"O e altitude 894 m) e Candói (latitude 25°36'22"S, longitude 52°03'47"O e altitude 870 m). A avaliação do volume de madeira de cada árvore em Ponta Grossa (6 anos de idade) mostrou os seguintes parâmetros genético-estatísticos: média, 0,30 m^3; herdabilidade no sentido restrito (h^2a), 0,29; herdabilidade entre progênies (h^2mp), 0,76; coeficiente de variação genética individual (CVgi), 14,95%; coeficiente de variação genética entre progênies (CVgp), 7,48%. A avaliação do volume de madeira de cada árvore em Candói (7 anos) mostrou os seguintes parâmetros genético-estatísticos: média, 1,47 m^3; h^2a, 0,25; h^2mp, 0,77; CVgi, 10,69%; CVgp, 5,35%. Do ponto de vista de desenvolvimento silvicultural, estes resultados demonstram claramente a superioridade, em termos de qualidade de sítio, para Candói comparativamente a Ponta Grossa, sendo irrelevante a defasagem de um ano de crescimento da avaliação efetuada em campo entre uma e outra localidade.

Dessa forma, todo o esforço de pesquisa fora canalizado para o experimento instalado em área sob controle da empresa parceira, na localidade de Candói, PR. Os resultados obtidos nesta condição se mostraram muito promissores para atender aos propósitos do melhoramento genético da espécie. Os levantamentos e análises estatístico-genéticas auxiliaram as tomadas de decisão para condução dos desbastes iniciais pela eliminação das árvores com menores valores genéticos aditivos individuais, incluindo aquelas bifurcadas, quebradas e com problemas fitossanitários. Os trabalhos de seleção praticados ao longo de 12 anos possibilitaram obter a cultivar seminal denominada BRSGTR 0701 Versátil, inscrita no RNC sob o número 40871.

Apesar do progresso no conhecimento desta espécie, alguns aspectos devem ser enfatizados em pesquisas futuras. Por exemplo, nos anos de 2010, 2011 e 2013, o inverno foi notoriamente frio nos estados do Paraná e Santa Catarina. Em alguns locais as temperaturas atingiram valores muito baixos (até -12 °C), causando a perda completa de partes aéreas de plantas jovens em plantios comerciais de até oito meses de idade. A consequência imediata foi o atraso no crescimento e, em algum grau, a redução dos povoamentos devido à morte de plantas menos tolerantes, indicando que são necessários mais esforços neste tópico, nas próximas etapas do programa de melhoramento.

As pesquisas estão também progredindo satisfatoriamente no que diz respeito à aplicação da propagação clonal para a espécie. Para tanto, foram selecionadas 25 matrizes com base no ordenamento efetuado conforme seu valor genotípico e, também, com base em avaliações fenotípicas de campo.

As Tabelas 3, 4, 5 e 6 resumem os dados de alguns atributos relacionados ao crescimento e de qualidade da madeira a partir de medições e amostragens efetuadas aos sete e nove anos de idade.

Tabela 3. Resultados médios das avaliações realizadas para os caracteres DAP (cm), altura total (m) e volume de madeira por árvore (m^3) das 25 matrizes de *Eucalyptus benthamii* selecionadas em Candói, PR, aos sete anos de idade.

Atributo	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume de madeira por árvore[(1)] (m^3)	Forma[(2)]
Média	40,5	30,2	1,96	4,2
Maior valor	52,8	33,8	2,89	5
Menor valor	34,4	26,4	1,41	3
Amplitude	18,5	7,4	1,48	2
Desvio padrão	4,145	2,053	0,394	-
IMA[(3)]	5,8	4,3	0,28	-

[(1)]Para fins de estimativa do volume de madeira por árvore, atribuiu-se para todas elas o mesmo fator de forma (no caso 0,5), que funcionou como uma constante nos cálculos matemáticos; [(2)]A nota para forma do fuste varia de 1 (pior) a 5 (melhor); [(3)]Incremento Médio Anual (cm/ano para DAP; m/ano para altura total e m^3/ano para volume de madeira).

Tabela 4. Caracterização das matrizes de *Eucalyptus benthamii* para crescimento, porcentagem de casca, volumes de cerne e de alburno e densidade básica da madeira em Candói, PR, aos nove anos de idade.

Identificação	Altura total (m)	DAP (cm)	Volume madeira com casca (m^3)	Volume madeira sem casca (m^3)	Casca (%)	Volume cerne (m^3)	Volume alburno (m^3)	Relação cerne/ alburno	Densidade básica (g/cm^3)
brs 202	32,6	51,9	2,49	2,06	17,4	0,84	1,22	0,69	0,458
brs 203	33,7	48,7	2,60	2,14	17,8	1,13	1,00	1,13	0,537
brs 204	29,2	44,9	1,65	1,32	20,1	0,56	0,76	0,73	0,572
brs 206	38,3	50,3	3,16	2,73	13,8	1,25	1,48	0,85	0,474
brs 207	35,1	55,7	3,26	2,75	15,7	1,56	1,19	1,31	0,481
brs 208	37,8	48,7	3,06	2,50	18,2	1,30	1,20	1,09	0,519
brs 209	33,1	46,8	2,13	1,73	19,0	0,79	0,94	0,84	0,491
brs 210	34,9	42,0	2,13	1,68	21,0	0,69	0,99	0,70	0,512
brs 211	32,6	49,0	2,44	1,99	18,7	0,89	1,10	0,81	0,516
brs 212	38,8	44,2	2,39	1,97	17,4	0,96	1,02	0,94	0,533
brs 213	39,9	47,7	2,94	2,49	15,4	1,18	1,31	0,90	0,471
brs 214	34,1	49,7	2,04	1,69	17,0	0,98	0,72	1,36	0,460
brs 215	35,2	45,5	2,62	2,16	17,5	1,09	1,07	1,02	0,518
Média	35,0	48,1	2,53	2,09	17,61	1,02	1,08	0,95	0,503
Maior valor	39,9	55,7	3,26	2,75	21,01	1,56	1,48	1,36	0,572
Menor valor	29,2	42,0	1,65	1,32	13,76	0,56	0,72	0,69	0,458
Amplitude	10,7	13,7	1,61	1,43	7,25	1,00	0,76	0,67	0,113
Desvio padrão	3,007	3,555	0,479	0,432	1,934	0,273	0,209	0,219	0,034
IMA[(1)]	3,9	5,3	0,28	0,23	-	0,11	0,12	-	-

[(1)]IMA: Incremento Médio Anual (m/ano para altura total; cm/ano para DAP; m^3/ano para volumes de madeira).

Tabela 5. Caracterização química da madeira das matrizes de *Eucalytpus benthamii* aos nove anos de idade, em Candói, PR, com base em amostras de lenho obtidas nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

Identificação	Teor de cinzas (%)	Teor de extrativos (%)	Teor de lignina Klason (%)	Teor de lignina solúvel em ácido (%)	Teor de holocelulose (%)	Teor de celulose (%)	Teor de arabinana (%)	Teor de galactana (%)	Teor de xilana (%)
brs 203	0,28	2,20	24,25	1,89	71,38	56,91	0,43	1,39	12,65
brs 206	0,36	1,19	24,52	2,88	71,05	57,04	1,94	0,42	11,65

Observações: 1ª) Os valores apresentados correspondem à média ponderada considerando os volumes de cada secção do tronco; 2ª) a denominação "brs", em letras minúsculas, refere-se à nomenclatura adotada para material experimental e, portanto, não registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

Tabela 6. Conteúdo das frações e porcentagem total de açúcares das matrizes de *Eucalytpus benthamii* aos nove anos de idade, em Candói, PR, com base em amostras de lenho obtidas nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

Identificação	Arabinose (mg/g)	Galactose (mg/g)	Glicose (mg/g)	Xilose (mg/g)	Celobiose (brs 203) e Manose (brs 206) (mg/g)	Total de açúcares (%)
brs 203	2,86	10,40	351,44	85,14	19,31	46,9
brs 206	14,71	3,63	382,19	88,66	0,94	49,0

Observações: 1ª) Os valores apresentados correspondem à média ponderada considerando os volumes de cada secção do tronco; 2ª) a denominação "brs", em letras minúsculas, refere-se à nomenclatura adotada para material experimental e, portanto, não registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

Em 2016, decorridos, portanto, nove anos desde o plantio, 13 das 25 matrizes foram abatidas para uma caracterização mais completa (Tabela 4) e também para se aumentar as chances de atender a propagação clonal por meio da obtenção de brotações, mais abundantes e uniformes do que aquelas obtidas por meio de indução por anelamento parcial do fuste na posição basal. Foi realizado acompanhamento sistemático quanto à emissão de brotações, as quais foram periodicamente coletadas com vistas à obtenção de miniestacas primordiais para o início da multiplicação em escala experimental. Das 13 matrizes, foi obtido êxito na clonagem de oito. Por sua vez, desses oito genótipos, dois se destacaram em termos de capacidade de enraizamento das miniestacas, os quais justificaram a realização de uma análise mais minuciosa das suas propriedades da madeira (Tabelas 5 e 6). Essas duas matrizes foram denominadas experimentalmente de brs 203 e brs 206 e consideradas promissoras quanto à facilidade de multiplicação em minijardim clonal.

Eucalyptus badjensis

A espécie *E. badjensis* possui capacidade de suportar baixas temperaturas e geadas de forte intensidade durante o inverno, situações estas bastante comuns por exemplo nas altitudes superiores a 1.000 metros dos altiplanos catarinenses. Além do aspecto adaptativo frente ao rigor climático, fica evidente a excelente capacidade de produção de madeira, tendo ainda a vantagem das árvores apresentarem boa forma do fuste e características silviculturais promissoras. Com base em avaliações preliminares do germoplasma, detectou-se aptidão para fins energéticos e para obtenção de peças roliças de madeira.

Dentre suas particularidades, o longo tempo de espera até que as plantas atinjam a maturidade reprodutiva merece ser mencionado. Nesse contexto, o comportamento fenológico é muito semelhante ao de *E. dunnii*. Um ponto crítico é a forte recalcitrância a processos de multiplicação clonal, configurando-se como um dos problemas mais sérios a serem superados. Técnicas que funcionam muito bem em germoplasmas tropicais são totalmente inócuas ao serem aplicadas à espécie. Essa baixíssima reatividade de *E. badjensis* acarreta a necessidade de se conduzir estudos mais elaborados, preferencialmente com o suporte de outras especialidades.

Pode-se afirmar que a Embrapa e a sua parceira de pesquisa, a empresa Celulose Irani S.A., foram pioneiras nos esforços de introdução e melhoramento genético de *E. badjensis* no Brasil, detendo o controle de germoplasmas oriundos de duas procedências australianas. Todos os materiais genéticos introduzidos se encontravam praticamente sem qualquer melhoramento, uma vez que as árvores provedoras das sementes estavam vegetando em seu habitat natural e foram definidas visualmente como matrizes somente com base em avaliação para crescimento e forma (Santos et al., 2018).

Foi assim que, em 1995, foram importadas amostras de sementes por intermédio da empresa Kylisa Seeds Pty. Ltd., com sede na Austrália. Um resumo da composição do germoplasma e demais detalhes do ambiente pertinentes às duas procedências introduzidas de *E. badjensis* para avaliação em condições brasileiras encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Características geográficas, climáticas e edáficas das procedências de *E. badjensis* introduzidas no Brasil.

Procedência geográfica	Nº de progênies	Latitude (S)	Longitude (L)	Altitude (m)	Caracterização do solo	Nº médio de geadas por ano	Temperatura mínima absoluta
Glenbog	20	36°29’	149°19’	1.162	Limo-argilosos avermelhados	82	-12 °C
Badja State Forest	40	36°02’	149°34’	1.000	Limo-argilosos marrom-avermelhados	82	-12 °C

No Brasil, a experimentação coordenada pela Embrapa se restringe a três localidades: Vargem Bonita (latitude 26°52’07”S, longitude 51°48’56”O e altitude 1.022 m; latitude 26°49’22”S, longitude 51°50’06”O e altitude 1.100 m) e Ponte Serrada (latitude 26°55’06”S, longitude 51°50’53”O e altitude 1.102 m), municípios situados em Santa Catarina, e Ponta Grossa (latitude 25°09’28”S, longitude 50°05’34”O e altitude 832 m; latitude 25°09’29”S, longitude 50°05’20”O e altitude 845 m), localizado no Paraná. Pode-se também afirmar que a espécie se encontra representada no Brasil por apenas duas procedências: Glenbog e Badja (Santos et al., 2018).

O clima em Vargem Bonita, SC e em Ponte Serrada, SC é, segundo a classificação de Köppen, do tipo temperado quente (Cfb), com grande número de horas de frio acumuladas durante o inverno. As localidades estão incluídas na Região Bioclimática 1 do estado de Santa Catarina, segundo Carpanezzi et al. (1988). Quanto à precipitação pluviométrica, o total anual é 2.030 mm (Estação Climatológica de Irani, SC), bem distribuída ao longo das estações e tornando os períodos secos ocasionais, havendo sempre diferença positiva entre a média mensal de chuva e a evapotranspiração potencial (Wrege et al., 2012). O risco de geadas é alto, em decorrência da posição meridional e da altitude local (Santa Catarina, 1958). O relevo da região varia de tipicamente suave ondulado a ondulado.

Em levantamentos efetuados em áreas da empresa Celulose Irani S.A. pela Embrapa Florestas em 2013 (relatório interno, não publicado), o solo foi classificado como sendo Nitossolo Bruno Aluminoférrico Latossólico, apresentando horizonte A húmico e textura muito argilosa.

Em Ponta Grossa, PR, o clima também é do tipo temperado quente (Cfb) e o total anual de precipitação pluviométrica é 1.500 mm, com distribuição regular ao longo dos meses do ano e sem apresentar deficiência hídrica em qualquer mês (Iapar, 1994). Por se situar na Região Bioclimática 1 do estado do Paraná, a incidência de geadas é praticamente certa, variando de 1 a 40 eventos por ano. As temperaturas médias anuais variam de 15 °C a 19 °C e as mínimas absolutas variam entre -5 °C e -10 °C (Embrapa, 1986). O solo das duas glebas de experimentação nessa localidade foi classificado pela Embrapa como sendo Latossolo Vermelho Distrófico típico, apresentando horizonte A moderado e textura média.

Levando-se em consideração a avaliação de crescimento efetuada no teste de procedências/progênies instalado em 1996 em Vargem Bonita, SC, Santos et al. (2015) determinaram uma série de parâmetros genéticos úteis para a estruturação do programa de melhoramento. As estimativas dos coeficientes de variação genética individual ($\widehat{CV}_{gi}$ (%)), para DAP, altura total e volume de madeira foram 12,59%, 5,91% e 26,51%, suficientes para sustentar os avanços de geração de melhoramento genético. Coeficientes de herdabilidade individual dos efeitos aditivos ($\hat{h}_a^2$) foram também estimados, sendo encontrados os seguintes valores para as citadas características: 0,44, 0,31 e 0,36. Estabelecida a classificação das árvores pelo critério de valor genético aditivo (μ+a), posteriormente foi efetuada, para fins de seleção definitiva, a comprovação visual no campo da superioridade dos genótipos candidatos quanto à taxa de crescimento, sendo ainda considerados como critérios adicionais de escolha a sanidade e a forma do fuste.

Os resultados encontrados indicam a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos consideráveis e, de modo geral, o germoplasma estudado atende satisfatoriamente a condução de um programa de melhoramento genético. Esses resultados abrem perspectivas promissoras em termos de uma nova alternativa de cultivo voltada para produtores de madeira interessados em utilizar eucalipto tolerante a invernos rigorosos e, portanto, sujeitos à frequentes geadas, muitas delas de forte intensidade.

A partir de 100 matrizes selecionadas (50 matrizes no teste de procedências/progênies e 50 na população-base) foram realizadas avaliações para caracteres de crescimento (DAP, altura total e volume de madeira), qualidade de madeira (densidade básica e poder calorífico superior, a partir de amostras de lenho do tipo bagueta) e composição química (teores de cinzas, extrativos, lignina Klason, lignina solúvel, arabinose, galactose, glicose, xilose, manose, celobiose e total de açúcares). Os resumos dos resultados são apresentados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8. Resultados médios das avaliações realizadas para os caracteres DAP (cm) e altura total (m), volume de madeira por árvore (m^3) e forma do fuste das 100 matrizes de *Eucalyptus badjensis* selecionadas em Vargem Bonita, SC e em Ponte Serrada, SC, aos 17 anos de idade.

Parâmetro	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume de madeira por árvore[(1)] (m^3)	Forma do fuste[(2)]
Média	58,5	39,2	5,32	4,0
Maior valor	76,4	46,5	8,78	5
Menor valor	45,8	29,1	2,68	2
Amplitude	30,6	17,4	6,11	3
Desvio padrão	5,466	3,693	1,175	-
IMA[(3)]	3,4	2,3	0,31	-

[(1)]Para fins de estimativa do volume de madeira por árvore, atribuiu-se para todas elas o mesmo fator de forma (no caso 0,5), que funcionou como uma constante nos cálculos matemáticos; [(2)]A nota para forma do fuste varia de 1 (pior) a 5 (melhor); [(3)]IMA: Incremento Médio Anual (cm/ano para DAP; m/ano para altura total e m^3/ano para volume de madeira).

Tabela 9. Resultados da caracterização de propriedades físicas, energéticas e químicas da madeira de *Eucalyptus badjensis*, à idade de 18 anos, obtidas de amostras de 100 matrizes selecionadas na localidade de Vargem Bonita, SC e em Ponte Serrada, SC.

Atributo	Densidade básica (g/cm^3)	Poder calorífico superior (MJ/kg)	Teor de cinzas (%)	Teor de extrativos (%)	Teor de lignina Klason (%)	Teor de lignina solúvel (%)
Média	0,495	18,031	0,11	2,1	22,2	3,4
Maior valor	0,574	19,596	0,22	3,4	28,0	6,0
Menor valor	0,398	16,293	0,04	1,0	17,3	2,2
Amplitude	0,176	3,303	0,19	2,4	10,7	3,8
Desvio padrão	0,036	0,593	0,04	0,4	2,3	0,9

Atributo	Arabinose (mg/g)	Galactose (mg/g)	Glicose (mg/g)	Xilose (mg/g)	Manose (mg/g)	Celobiose (mg/g)	Teor de Açúcares (%)
Média	2,6	7,3	366,9	112,0	1,3	25,5	51,6
Maior valor	7,9	31,1	567,0	214,2	8,9	64,4	83,5
Menor valor	0,0	0,0	210,0	49,7	0,0	3,7	27,4
Amplitude	7,9	31,1	357,1	164,5	8,9	60,7	56,2
Desvio padrão	2,1	5,6	77,4	35,3	2,2	14,2	12,2

Observação: Para as propriedades físicas e energéticas, a amostragem utilizada foi do tipo bagueta e, para a determinação do perfil químico, a amostragem foi do tipo farelo, ambas obtidas em nível de DAP (aproximadamente 1,30 m da superfície do solo) mediante o emprego de extratores específicos para cada situação.

Após 20 anos de acompanhamento silvicultural, comprovou-se a adequada adaptação e o alto potencial produtivo e industrial da madeira para a espécie quando plantada em altitudes elevadas do Sul do Brasil, os quais foram determinantes para a estruturação de um programa de melhoramento genético. A espécie ainda se encontra em estágio investigativo, havendo pouquíssimos plantios em escala comercial. São competidores naturais *E. benthamii* e *E. dunnii*. Felizmente, a quantidade de artigos científicos e contribuições técnicas sobre *E. badjensis* geradas no País aparentemente vêm aumentando, o que sem dúvida reflete um interesse crescente em seu aproveitamento em escala operacional, principalmente na produção de madeira como matéria-prima para usos diversificados. Nesse sentido, encontram-se disponíveis diversos artigos recentemente publicados na literatura que atestam as potencialidades e limitações naturais de sua madeira para industrialização.

A bem sucedida implantação do primeiro Pomar Clonal de Sementes (PCS) no Brasil em área da empresa Celulose Irani S.A., em parceria com a Embrapa, possibilitará a disponibilização de sementes em um nível de melhoramento considerável, muito embora seja ainda formado por um conjunto de matrizes não testadas geneticamente mediante o desempenho de seus descendentes. O Pomar está sendo aproveitado também para aprimorar técnicas de manejo de copa, indução de florescimento e de polinização controlada. As alternativas para a hibridação interespecífica estarão abertas, trazendo consigo possíveis saídas para contornar a questão da dificuldade em se obter resultados promissores com a propagação clonal. O PCS foi instalado no campo em janeiro de 2018, estando representado por 50 matrizes eleitas pelo programa de melhoramento. O espaçamento de plantio foi dimensionado de forma suficientemente ampla para permitir, em momento posterior, o plantio de novas mudas nos intervalos existentes para 50 matrizes adicionais, objetivando que a área (1,0 ha) contenha toda a coleção de genótipos. A disponibilização de cultivares clonais é o próximo objetivo almejado.

Como primeiro ativo tecnológico finalizado foi registrada a cultivar seminal denominada BRSCI 9601 Expoente, inscrita no RNC sob o número 34393.

Eucalyptus viminalis

Por muitos anos, o cultivo desta espécie prevaleceu sobre outras, devido à significativa tolerância ao frio. A Embrapa enriqueceu a base genética existente no País para a espécie por meio da introdução de novas procedências geográficas na década de 1980, as quais foram avaliadas em condições representativas na região Sul do País. Foram introduzidas oito procedências, representadas por 181 progênies. As denominações, número de matrizes colhidas e respectivas coordenadas geográficas encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10. Descrição e caracterização das coordenadas geográficas das procedências de *Eucalyptus viminalis* introduzidas no Brasil pela Embrapa.

Procedência geográfica	Nº de matrizes colhidas	Latitude (S)	Longitude (L)	Altitude (m)
Warung State Forest, Coolah, New South Wales (NSW)	25	31°45’	149°58’	1.080
Stewarts Brook State Forest, Barrington Tops Gloucester, NSW	25	31°58’	151°23’	1.300
Mountain Mudgee, NSW	26	32°43’	152°13’	820 - 1.100
Canobolas State Forest, Orange, NSW	25	33°24’	149°01’	850 - 1.170
Cotter Flats, Australian Capital Territory	5	35°38’	148°50’	1.100
Bombala, NSW (43 km sul)	25	37°13’	149°18’	420
Bendoc, Victoria (16 km sudoeste)	25	37°15’	148°45’	720
Bendoc, Victoria (14 km sudeste)	25	37°15’	148°58’	850

As avaliações efetuadas na rede experimental estabelecida permitiram definir as procedências de maior potencial adaptativo e produtivo, as quais passaram a ser denominadas de populações-base de melhoramento e que se encontram em Santa Catarina, representando as que continuaram se desenvolvendo em campo em função dos resultados da experimentação original. Um total de três procedências foram contempladas, sendo que uma quarta foi anexada em função do seu excelente padrão silvicultural graças ao trabalho conduzido pela empresa Celulose Irani S.A., empresa parceira da Embrapa. Os detalhes das áreas experimentais são apresentados adiante:

- **População-Base 1**: Banco de Conservação Genética procedente de região situada a 14 km no rumo sudeste de Bendoc, estado de Victoria, Austrália. Base genética original formada a partir de 25 matrizes, a qual possibilitou estruturar a avaliação das respectivas progênies sob o delineamento de blocos casualizados, contendo 35 repetições e parcelas de uma única planta, mantendo-se um espaçamento regular de 4,0 m x 3,0 m entre plantas. Foi implantada em fevereiro de 1986, na Fazenda Criciúma (Latitude 26°58’57”S, Longitude 51°52’13”O e Altitude 1.140 m), localizada no município de Irani, SC, em gleba com CAMBISSOLO HÚMICO Aluminoférrico léptico, horizonte A húmico, textura muito argilosa ou argilosa, relevo plano a suave ondulado, bem a moderadamente drenado, terço médio da encosta, material de origem rochas eruptivas básicas a intermediárias, espessura do horizonte superficial ≥ 25 cm e profundidade efetiva < 100 cm. População manejada e com boas condições silviculturais. Área total: 1,35 ha. Foram selecionadas oito matrizes para atender aos propósitos do melhoramento.
- **População-Base 2**: Banco de Conservação Genética procedente de região situada a 43 km ao sul de Bombala, estado de New South Wales, Austrália. Base genética

original formada a partir de 20 matrizes, a qual possibilitou estruturar a avaliação das respectivas progênies sob o delineamento de blocos casualizados, contendo 20 repetições e parcelas de uma única planta, mantendo-se um espaçamento regular de 4,0 m x 3,0 m entre plantas. Foi implantada em março de 1986, na Fazenda Campina da Alegria (Latitude 26°56'26"S, Longitude 51°48'07"O e Altitude 1.114 m), localizada no município de Catanduvas, SC, em gleba com CAMBISSOLO HÚMICO Aluminoférrico típico, horizonte A húmico, textura muito argilosa ou argilosa, relevo ondulado, bem a moderadamente drenado, material de origem rochas eruptivas básicas a intermediárias, espessura do horizonte superficial ≥ 25 cm e profundidade efetiva > 100 cm. População manejada e com boas condições silviculturais. Área total: 0,62 ha. Foram selecionadas quatro matrizes para atender aos propósitos do melhoramento.

- **População-Base 3**: Banco de Conservação Genética procedente de região localizada a 16 km no rumo sudoeste de Bendoc, estado de Victoria, Austrália. Base genética original formada a partir de 25 matrizes, a qual possibilitou estruturar a avaliação das respectivas progênies sob o delineamento de blocos casualizados, contendo 30 repetições e parcelas de uma única planta, mantendo-se um espaçamento regular de 4,0 m x 3,0 m entre plantas. Foi instalada em março de 1986, na Fazenda São João do Irani/Camargo (Latitude 26°54'15"S, Longitude 51°46'57"O e Altitude 1.179 m), localizada no município de Vargem Bonita, SC, em gleba com NITOSSOLO BRUNO Distroférrico cambissólico, horizonte A húmico, textura muito argilosa, relevo plano a suave ondulado, bem a moderadamente drenado, material de origem rochas eruptivas básicas a intermediárias, espessura do horizonte superficial ≥ 30 cm e profundidade efetiva > 100 cm. População manejada e com boas condições silviculturais. Área total: 1,04 ha. Foram selecionadas oito matrizes para atender aos propósitos do melhoramento.
- **População-Base 4**: Talhão procedente do estado de New South Wales, Austrália. Base genética original desconhecida. Foi instalada na forma de povoamento comercial (sob espaçamento de 3,0 m x 2,0 m entre plantas) em dezembro de 1995, na Fazenda Pinho (Latitude 26°50'12"S, Longitude 51°51'51"O e Altitude 1.028 m), localizada no município de Ponte Serrada, SC, em gleba com predomínio de NITOSSOLO BRUNO Distroférrico cambissólico, horizonte A húmico, textura muito argilosa, relevo ondulado, bem drenado, terço superior a médio de encosta, material de origem rochas eruptivas básicas a intermediárias, espessura do horizonte superficial ≥ 25 cm e profundidade efetiva > 100 cm. Na parte inferior da encosta ocorre a presença de CAMBISSOLO HÚMICO Aluminoférrico léptico, horizonte A húmico, textura muito argilosa ou argilosa, relevo plano a suave ondulado, bem a moderadamente drenado, material de origem rochas eruptivas básicas a intermediárias, espessura do horizonte superficial ≥ 25 cm e profundidade efetiva < 100 cm. As boas condições silviculturais, a adequada densidade populacional remanescente e a

qualidade das matrizes conferem uma condição muito favorável para aproveitamento da população como fonte de sementes melhoradas.

As referidas populações foram ou ainda vêm sendo manejadas por meio de desbastes seletivos. Os critérios adotados para eliminação de árvores foram os seguintes: presença de sintomas de doenças ou de má adaptação; taxa de crescimento abaixo da média; acentuada tortuosidade; ocorrência de bifurcação; deformação na base do fuste; galhos excessivamente grossos; danos mecânicos e inclinação anormal. A intenção foi estruturar as áreas para se tornarem áreas produtoras de sementes na modalidade Área de Produção de Sementes (APS). As Populações 1 e 3 mostraram-se sensivelmente superiores à População-Base 2. As quatro áreas encontram-se em maturidade reprodutiva, evidenciada pela formação de frutos.

As Tabelas 11 e 12 apresentam resumidamente o desempenho em termos de crescimento dos dois conjuntos de matrizes que estão servindo de base para a continuidade do melhoramento genético e futura produção de sementes de melhor qualidade.

Tabela 11. Resultados das medições realizadas para os caracteres DAP (cm), altura total (m) e volume de madeira por árvore (m^3), para o conjunto de 20 matrizes de *Eucalyptus viminalis* selecionadas nas Populações-Base 1, 2 e 3, aos 28 anos de idade.

Atributo	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume de madeira por árvore[(1)] (m^3)	Forma do fuste[(2)]
Média	72,2	41,6	8,69	4,1
Maior valor	89,1	44,1	12,72	5
Menor valor	60,5	37,2	5,57	3
Amplitude	28,6	6,9	7,15	2
Desvio padrão	9,069	1,797	2,349	-
IMA[(3)]	2,6	1,5	0,31	-

[(1)]Para fins de estimativa do volume de madeira, atribuiu-se para todas as árvores o mesmo fator de forma (no caso 0,5), que funcionou como uma constante nos cálculos matemáticos; [(2)]A nota para forma do fuste varia de 1 (pior) a 5 (melhor); [(3)]IMA: Incremento Médio Anual (cm/ano para DAP; m/ano para altura total e m^3/ano para volume de madeira).

Tabela 12. Resultados das medições realizadas para os caracteres DAP (cm), altura total (m) e volume de madeira por árvore (m^3), para o conjunto de 12 matrizes de *Eucalyptus viminalis* selecionadas na População-Base 4, aos 19 anos de idade.

Atributo	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume de madeira por árvore[(1)] (m^3)	Forma do fuste[(2)]
Média	68,3	45,2	8,42	4,3
Maior valor	87,1	49,7	14,79	5
Menor valor	57,1	41,2	5,73	3
Amplitude	29,9	8,5	9,06	2
Desvio padrão	8,819	2,315	2,472	-
IMA[(3)]	3,6	2,4	0,44	-

[(1)]Para fins de estimativa do volume de madeira, atribuiu-se para todas as árvores o mesmo fator de forma (no caso 0,5), que funcionou como uma constante nos cálculos matemáticos; [(2)]A nota para forma do fuste varia de 1 (pior) a 5 (melhor); [(3)]IMA: Incremento Médio Anual (cm/ano para DAP; m/ano para altura total e m^3/ano para volume de madeira).

Para as 32 matrizes selecionadas foram realizadas avaliações para os seguintes caracteres: densidade básica e poder calorífico superior (a partir de um par de amostras de lenho do tipo baguetas obtidas na posição correspondente ao DAP por meio de sondas de incremento, sendo uma na direção leste-oeste e a outra na direção norte-sul) e composição química (teores de cinzas, extrativos, lignina Klason, lignina solúvel, arabinose, galactose, glicose, xilose, manose, celobiose e total de açúcares. Os resultados das determinações se encontram nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13. Resultados da caracterização de propriedades físicas, energéticas e químicas da madeira de *Eucalyptus viminalis* à idade de 28 anos. Amostras provenientes de 20 matrizes selecionadas nas localidades de Irani, SC, Catanduvas, SC e Vargem Bonita, SC.

Parâmetro	Densidade básica (g/cm³)	Poder calorífico superior (MJ/kg)	Teor de cinzas (%)	Teor de extrativos (%)	Teor de lignina Klason (%)	Teor de lignina solúvel (%)
Média	0,483	18,068	0,13	2,8	25,3	3,4
Maior valor	0,545	18,737	0,17	4,8	27,4	4,7
Menor valor	0,415	17,399	0,10	1,0	23,2	1,7
Amplitude	0,131	1,339	0,08	3,8	4,3	3,0
Desvio padrão	0,031	0,397	0,02	1,0	1,2	0,9

Parâmetro	Arabinose (mg/g)	Galactose (mg/g)	Glicose (mg/g)	Xilose (mg/g)	Manose (mg/g)	Celobiose (mg/g)	Teor de açúcares (%)
Média	3,0	6,9	322,5	104,3	5,0	42,4	48,4
Maior valor	5,8	11,9	396,7	161,8	19,8	59,3	62,6
Menor valor	1,4	3,4	219,1	65,0	0,0	29,8	31,9
Amplitude	4,5	8,5	177,6	96,9	19,8	29,5	30,7
Desvio padrão	1,4	2,5	44,5	23,9	4,9	7,9	6,9

Observação: Para as propriedades físicas e energéticas, a amostragem utilizada foi do tipo bagueta e, para a determinação do perfil químico, a amostragem foi do tipo farelo, ambas obtidas em nível de DAP (aproximadamente 1,30 m da superfície do solo) mediante o emprego de extratores específicos.

Tabela 14. Resultados da caracterização de propriedades físicas, energéticas e químicas da madeira de *Eucalyptus viminalis* à idade de 20 anos. Amostras provenientes de 12 matrizes selecionadas na localidade de Ponte Serrada, SC.

Parâmetro	Densidade básica (g/cm³)	Poder calorífico superior (MJ/kg)	Teor de cinzas (%)	Teor de extrativos (%)	Teor de lignina Klason (%)	Teor de lignina solúvel (%)
Média	0,476	18,115	0,12	2,8	24,4	2,2
Maior valor	0,511	19,575	0,16	3,9	26,3	2,5
Menor valor	0,419	17,455	0,09	2,0	22,7	1,6
Amplitude	0,092	2,120	0,08	1,9	3,6	0,9
Desvio padrão	0,032	0,548	0,02	0,6	1,2	0,3

Parâmetro	Arabinose (mg/g)	Galactose (mg/g)	Glicose (mg/g)	Xilose (mg/g)	Manose (mg/g)	Celobiose (mg/g)	Teor de açúcares (%)
Média	4,2	8,7	398,6	140,3	6,7	45,4	60,4
Maior valor	5,2	13,0	455,9	172,6	12,1	57,0	69,5
Menor valor	3,3	5,7	323,3	119,3	1,6	37,1	49,6
Amplitude	1,8	7,3	132,6	53,3	10,6	19,9	19,9
Desvio padrão	0,6	2,2	39,6	14,8	3,3	6,4	5,9

Observação: Para as propriedades físicas e energéticas, a amostragem utilizada foi do tipo bagueta e, para a determinação do perfil químico, a amostragem foi do tipo farelo, ambas obtidas em nível de DAP (aproximadamente 1,30 m da superfície do solo) mediante o emprego de extratores específicos.

Pesquisa e desenvolvimento florestal no Semiárido

A região Semiárida do Brasil está situada na parte central da região Nordeste, tendo os seus limites contornados por áreas subúmidas, exceto na porção setentrional (Figura 1). Essa região ocupa uma área de 844.453 km^2 (IBGE, 2019) e é caracterizada por balanço hídrico negativo, resultante de precipitações pluviais anuais que variam de 250 mm a 800 mm, insolação média de 2.800 horas ano^{-1}, temperatura média anual de 27 °C, evaporação de 2.000 mm ano^{-1} e umidade relativa do ar média em torno de 50%. Possui regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações pluviais em um período curto de apenas três meses (Moura et al., 2007).

A Embrapa Semiárido, desde 1979, vem buscando selecionar espécies/procedências de eucalipto potenciais para diferentes condições edafoclimáticas do Nordeste, objetivando minimizar a pressão exercida sobre as espécies nativas lenhosas, que apresentam, em geral, crescimento lento. Uma importante região consumidora de

Figura 1. Mapa de delimitação do Semiárido brasileiro.
Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

lenha no Nordeste é a do Araripe, localizada entre os municípios pernambucanos de Ouricuri e Araripina. Nessa região existe uma concentração de indústrias de gesso, que utilizam a lenha como fonte de energia, com um consumo médio de 30.000 m^3 por mês. Este consumo resulta em desmatamento de aproximadamente 25 ha por dia, com produção média de lenha da vegetação nativa de 40 m^3 ha^{-1}. Diante dessa demanda e da baixa oferta de madeira, essas indústrias têm-se articulado para encontrar apoio de órgãos ligados ao setor florestal sobre orientações técnicas de reflorestamento como a indicação de espécies potenciais para essa região.

As características silviculturais e a importância econômica das espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* que apresentaram melhor desempenho silvicultural na região Semiárida são a seguir discutidas.

Para o Nordeste do Brasil, Golfari e Caser (1977) recomendaram a experimentação das espécies *Eucalyptus alba*, *E. camaldulensis*, *E. confertiflora*, *E. crebra*, *E. dichromophloia*, *E. exserta*, *E. microtheca*, *E. miniata*, *Corymbia papuana*, *C. polycarpa* e *C. tesselaris*, na região Semiárida, com destaque para *E. camaldulensis* que foi indicada, desde a região 2 (subúmido, úmido tropical) até a região 5 (árido tropical). Neste caso, cabendo-se a certificação das melhores procedências para cada localidade.

É importante ressaltar que a espécie *E. camaldulensis* atualmente vem sendo preterida em outras regiões do Brasil em decorrência da suscetibilidade a insetos de importância econômica (percevejo bronzeado, psilídeo de concha e vespa da galha). Existem clones de híbridos interespecíficos com *E. camaldulensis* sendo plantados comercialmente, especialmente quando os plantios estão localizados em regiões com presença de déficit hídrico, porém, ainda assim existem riscos de suscetibilidade aos referidos insetos.

Na seleção de diferentes espécies de eucalipto potenciais para a região Semiárida do Brasil, a Embrapa Semiárido, por meio do Programa Nacional de Pesquisa Florestal no Semiárido brasileiro, implantou vários experimentos em diferentes municípios dos estados da Bahia (Caetité, Contendas do Sincorá, Brumado e Euclides da Cunha), de Pernambuco (Trindade e Petrolina), da Paraíba (Umbuzeiro e Souza), do Rio Grande do Norte (Pedro Avelino) e do Ceará (Barbalha) (Tabela 15).

Segundo Drumond (1992), nas introduções feitas pela Embrapa Semiárido, 24 espécies e 180 procedências de *Eucalyptus* e *Corymbia* foram testadas na região Semiárida brasileira, caracterizada por precipitações pluviométricas entre 250 mm e 800 mm anuais. A potencialidade de *E. camaldulensis* foi confirmada, sendo a espécie que apresentou maior produção média de madeira, juntamente com *E. tereticornis*, *E. crebra* e *E. drepanophylla*.

No Semiárido brasileiro existem algumas iniciativas de resgate, via propagação vegetativa, de materiais genéticos de espécies puras com grande potencial de crescimento como *E. grandis* e *E. urophylla*, objetivando a formação de híbridos com as

Tabela 15. Localização geográfica e dados climáticos dos municípios onde foram testadas as diferentes espécies e procedências de *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Localidade	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Caetité, BA	14°04’	42°28’	826	847	21,4
Contendas do Sincorá, BA	13°45’	41°02’	286	557	22,7
Brumado, BA	14°12’	41°40’	457	640	25,0
Euclides da Cunha, BA	10°30’	40°01’	523	724	23,6
Petrolina, PE	09°24’	40°30’	376	480	26,0
Trindade, PE	07°45’	40°16’	450	565	26,0
Souza, PB	06°45’	38°13’	220	784	27,0
Umbuzeiro, PB	07°41’	35°39’	541	658	26,4
Barbalha, CE	07°18’	39°18’	414	1.112	24,1
Pedro Avelino, RN	05°31’	36°23’	097	414	25,5

espécies de menor desempenho em crescimento e forma, porém, de maior tolerância aos estresses abióticos (*E. crebra*, *E. microtheca*, entre outras). As espécies *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* são as mais importantes para o reflorestamento em zonas tipicamente tropicais da África e já despontam como potenciais para as regiões mais secas do Brasil. Outras espécies como *E. crebra* e *E. microtheca* também podem ser consideradas como materiais genéticos estratégicos na formação de híbridos interespecíficos (Oliveira; Drumond, 2003; Oliveira et al., 2010; Drumond et al., 2016).

Assim, ações de resgate de plantas remanescentes de experimentos têm sido realizadas continuadamente por meio de propagação vegetativa (enxertia) para viabilizar oportunamente as etapas de polinização controlada e obtenção de híbridos, com base no bom desempenho silvicultural e principalmente na sobrevivência de *E. crebra* em plantio experimental na região de Trindade, PE (68%) e Contendas do Sincorá, BA (43%) com mais de 25 anos de idade. Os valores médios encontrados para altura (m) e DAP (cm) foram respectivamente 16 m (16 m a 19 m) e 16,5 cm (13 cm a 23cm). Essa constatação in loco incentivou a importação, em 2010, de procedências e progênies dessa espécie das localidades australianas de Pentland (QLD), Bogantungan (QLD) e Torrens Creek Area (QLD), visando aumentar a variabilidade genética da espécie na região Semiárida do Nordeste, além de possibilitar avaliações silviculturais e produção de sementes melhoradas. Os lotes de sementes dessa espécie corresponderam a 31 progênies, sendo dez de Bogantungan, onze de Pentland e dez de Torrens Creek Area, que são procedências originárias entre as latitudes de 20° a 23°S e longitudes de 145° a 147°L, com altitudes variando de 382 m a 523 m.

A partir do recebimento das sementes, foram produzidas mudas e plantadas em experimento instalado sob delineamento de blocos ao acaso com famílias compactas, no espaçamento de 3 m x 2 m, quatro plantas por parcela e três repetições, em três

localidades: Araripina, PE, Petrolina, PE e Nossa Senhora da Glória, SE. Esses ensaios foram implantados no período de 2013 a 2015 e, considerando que *Eucalyptus crebra* tem como peculiaridade o desenvolvimento inicial lento até o terceiro ano de idade, dados de crescimento em altura e DAP serão obtidos a idades mais avançadas para serem submetidos à análise estatística, possibilitando assim investigar possíveis diferenças de desempenho entre as procedências. No que se refere às médias de sobrevivência, os resultados foram superiores a 90% até o quarto ano de idade para as três procedências.

Em face da diversidade de solo e clima da região Semiárida, a produtividade de madeira das espécies varia em função da localidade (Tabela 16).

Tabela 16. Produtividade média das espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* em diferentes localidades do Semiárido brasileiro.

Espécie	Localidade/Incremento médio anual ($m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E. alba	12,2	6,3	3,6	4,0	6,8	3,6	2,7	2,4	1,9	-
E. camaldulensis	60,8	8,0	10,0	44,2	25,6	19,1	8,5	9,6	14,4	41,6
C. citriodora	38,0	5,3	9,6	54,1	24,2	19,7	-	9,0	6,5	-
E. crebra	7,5	5,2	-	8,0	9,9	24,2	16,2	-	2,0	-
E. exserta	28,9	5,2	10,2	27,8	25,7	23,3	-	5,0	10,0	-
E. microtheca	0,9	4,8	-	-	1,8	-	2,1	-	-	-
E. tereticornis	-	5,9	26,0	62,5	23,0	23,4	10,3	-	7,0	-

Identificação das localidades: 1) Caetité, BA (5 anos); 2) Contendas do Sincorá, BA (4 anos); 3) Barbalha, CE (6 anos); 4) Brumado, BA (5 anos); 5) Euclides da Cunha, BA (5 anos); 6) Trindade, PE (6 anos); 7) Petrolina, PE (7 anos), 8); Pedro Avelino, RN (5 anos); 9) Umbuzeiro, PB (4 anos); 10) Souza, PB (7 anos).

A produtividade de *E. tereticornis* em Brumado, BA, cuja localização do experimento está a aproximadamente 900 m de altitude, no microclima propício ao desenvolvimento vegetativo das plantas, a produtividade da espécie foi de 62,5 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ (volume cilíndrico), enquanto que em Contendas do Sincorá, BA, região de extrema aridez, sua produtividade foi dez vezes menor. Convém ressaltar que, para o Semiárido brasileiro, *E. tereticornis*, *E. alba* e *E. camaldulensis* são as espécies mais indicadas, apresentando produtividade em torno de 10 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$. Esse índice foi atingido por essas espécies até nas regiões consideradas mais áridas como Contendas do Sincorá, BA, Petrolina, PE e Pedro Avelino, RN (Drumond, 1992). Com relação à produtividade de *E. camaldulensis* e *E. tereticornis*, acima de 40 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, a mesma foi obtida em localidades mais favoráveis em relação às condições edafoclimáticas. Aos sete anos de idade, as espécies *E. microtheca*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E. crebra*, apresentaram valores de incremento médio anual de volume de madeira (IMA) de 2,1 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$; 8,5 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$; 10,3 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ e 16,2 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$,

respectivamente, no Campo Experimental da Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, localizado em Petrolina, PE (Drumond, 1992; Drumond et al., 2016).

A pesquisa florestal desenvolvida desde 1979 na região Nordeste do Brasil conseguiu significativos avanços no conhecimento em relação às técnicas silviculturais, principalmente naquelas áreas com pouca ou nenhuma tradição florestal. Os resultados obtidos por meio dos ensaios de espaçamento e adubação envolvendo espécies potenciais para usos múltiplos, com ênfase na produção de energia, contribuíram sensivelmente para a definição de protocolos silviculturais e, consequentemente, para o aumento da produtividade e melhoria da qualidade das plantações. Da mesma forma, possibilitaram a seleção de espécies mais adequadas e adaptadas às condições adversas do Semiárido brasileiro (Drumond, 1992; Lima; Oliveira, 1997; Ribaski; Lima, 1997; Drumond et al., 2001, 2009, 2011, 2012, 2015; Oliveira; Drumond, 2003; Oliveira et al., 2010; Gadelha et al., 2012, 2015).

Considerando-se que não existem perspectivas, no curto e médio prazo, para a substituição da lenha como principal fonte energética regional e diante do fato de que as mudanças climáticas globais são uma realidade, as florestas plantadas passam a ter papel relevante na elaboração de estratégias de mitigação e adaptação. Dessa forma, faz-se necessária a ampliação das pesquisas na área florestal, procurando identificar novos materiais genéticos potenciais e aperfeiçoando as tecnologias silviculturais para assegurar o fornecimento de matéria-prima, em quantidade e qualidade, para suprir a demanda regional de forma sustentável.

Particularmente na Chapada do Araripe, onde existe grande demanda de madeira para energia, o plantio de eucaliptos é uma alternativa para diminuir a pressão sobre a Caatinga quanto à obtenção de lenha para abastecer os fornos das indústrias gesseiras. O estabelecimento de florestas energéticas utilizando híbridos de eucalipto tem apresentado resultados bastante promissores, demonstrando que, a partir do quarto ano, é possível produzir mais de 100 m^3 de madeira por hectare. Com essa produtividade e diante de um consumo médio anual de cerca de dois milhões de metros estéreos (condição empilhada) de lenha na região, considera-se que, com o cultivo desse material introduzido, será possível reduzir consideravelmente o consumo de madeira oriunda da vegetação nativa.

Deve-se ressaltar, ainda, que o cultivo de florestas energéticas com eucalipto, quando bem conduzido, resulta em impactos positivos, pois é uma atividade sustentável (permite a conversão de carbono em biomassa), geradora de emprego e renda e de um produto renovável capaz de substituir a madeira de espécies nativas utilizadas como fonte energética, proporcionando ainda o aumento do rendimento energético dos fornos por se tratar de um material homogêneo em suas características gerais.

Percebe-se, no entanto, a necessidade de um maior incentivo por parte de órgãos do governo, para que os produtores optem pelo plantio em áreas degradadas da Caatinga. Seria muito importante a criação de um programa florestal incentivado, onde

fosse possível inserir o pequeno produtor na produção dessa energia de forma sustentável, tratando a floresta plantada como outra cultura qualquer capaz de gerar emprego e renda no campo. Com essa finalidade, poder-se-ía considerar a possibilidade da criação de subsídios para programas de plantio florestal comercial na região do Polo Gesseiro do Araripe, em Pernambuco. Com isso, indústrias de calcinação poderiam implantar suas próprias florestas ou incentivar programas de fomento florestal junto a pequenos e médios proprietários rurais, garantindo seu autoabastecimento de lenha.

Para averiguar a condição silvicultural geral de germoplasmas de espécies de eucaliptos de uma antiga rede experimental do Prodepef, denominada "Teste de Espécies de Eucaliptos", instalada em parceria com entidades públicas e privadas do Nordeste, pesquisadores da Embrapa Semiárido e da Embrapa Florestas visitaram, no final de 2010, diversos experimentos dessa rede estabelecidos nos municípios baianos de Contendas do Sincorá, Caetité, Brumado, Planaltino e Maracás, com vistas à avaliação e perspectivas de resgaste de materiais (via pólen, sementes ou material vegetativo), visando identificar aqueles de interesse à continuidade de pesquisas na região. Os resultados dessa avaliação para o resgate de genótipos são apresentados adiante:

Experimento I: Floresta Nacional (Contendas do Sincorá, BA):

- Coordenadas geográficas: latitude 13°55'43"S, longitude 41°05'31"O e altitude 342 m.
- Parecer técnico: aspecto silvicultural condizente com a condição climática regional e com o estado selvagem dos germoplasmas, havendo grande mortalidade de plantas e perda completa de parcelas de algumas espécies. As medições foram realizadas somente até a idade de cinco anos.
- Particularidades do sítio: a precipitação pluviométrica média anual é 550 mm, distribuída de forma irregular entre novembro e março; lenço freático muito profundo; solo de textura argilosa com profundidade de até 1,5m; vegetação natural típica de Caatinga.
- Interesse da Embrapa: resgate vegetativo dos melhores indivíduos das espécies *E. crebra*, *E. microtheca* e *E. drepanophylla*.
- Orientação para a detentora da área (Ibama): manutenção e conservação genética da unidade experimental, protegendo o material contra a ação de fogo, formigas cortadeiras, vandalismo e furto.
- Em avaliação dendrométrica expedita efetuada nas parcelas de *E. crebra*, foram encontrados os seguintes valores: 43% para sobrevivência, 15,2 cm para DAP e entre 14,0 e 16,5 m de amplitude para altura total.
- Observações adicionais: das espécies potenciais sobreviventes observadas, o desempenho geral (crescimento, forma e sobrevivência) em ordem decrescente (melhor para pior) foi o seguinte: *E. crebra*, *E. microtheca* e *E. drepanophylla*. Presença muito restrita de frutos.

Experimento II: Propriedade particular (Caetité, BA)

- Coordenadas geográficas: latitude 14°08'50"S, longitude 42°19'30"O e altitude 650 m.
- Parecer técnico: aspecto silvicultural condizente com a condição climática regional e com o estado selvagem dos germoplasmas, havendo grande mortalidade de plantas e perda generalizada de parcelas. As medições foram realizadas somente até a idade de 5 anos.
- Particularidades do sítio: a precipitação pluviométrica média anual é 850 mm, distribuída de forma irregular entre novembro e março; solo de textura média; vegetação natural típica de Caatinga; árvores de *C. citriodora* nas circunvizinhanças.
- Interesse da Embrapa: conservação genética do material.
- Orientação: Manutenção e conservação genética da unidade experimental.

Experimento III: Propriedade particular (Caetité, BA)

- Coordenadas geográficas: latitude 14°09'07"S, longitude 42°20'34"O e altitude 686 m.
- Parecer técnico: aspecto silvicultural condizente com a condição climática regional e com o estado selvagem dos germoplasmas, havendo grande mortalidade de plantas e perda generalizada de parcelas. As medições foram realizadas somente até a idade de 5 anos.
- Particularidades do sítio: a precipitação pluviométrica média anual é 850 mm, distribuída de forma irregular entre novembro e março; solo de textura média; vegetação natural típica de Caatinga; existem algumas árvores *E. resinifera* nas bordas do experimento e várias de *C. citriodora* remanescentes de plantio comercial ocupando uma área de aproximadamente 1,0 ha efetuado nas circunvizinhanças.
- Interesse da Embrapa: resgate de genótipos de *C. intermedia*.
- Orientação: Manutenção e conservação genética da unidade experimental.

Experimento IV: Empresa Magnesita (Brumado, BA)

- Coordenadas geográficas: latitude 14°09'27"S, longitude 41°42'30"O e altitude 895 m.
- Parecer técnico: aspecto silvicultural condizente com a condição climática regional e com o estado selvagem dos germoplasmas, havendo grande mortalidade de plantas e perda generalizada de parcelas. As únicas espécies que sobreviveram foram: *E. tereticornis*, *E. camaldulensis* e *C. intermedia*. Com exceção desta última, as duas primeiras foram colocadas como bordadura do experimento. As medições foram realizadas somente até a idade de 5 anos.
- Particularidades do sítio: a precipitação pluviométrica média anual é 750 mm, distribuída de forma irregular entre novembro e março; solo de textura média; vegetação

natural do ecossistema "caatinga alta", havendo ocorrência de árvores de maior porte e do extrato herbáceo; frio intenso durante os meses de inverno e presença de cerração nessa época; talhão comercial de *C. citriodora* nas circunvizinhanças, apresentando desenvolvimento considerado relativamente bom para a condição local.

- Interesse da Embrapa: resgate genético de *E. intermedia*.
- Orientação para a empresa proprietária: Manutenção e conservação genética da unidade experimental.

Pesquisa e desenvolvimento florestal nas condições tropicais do Sudeste, Centro-Oeste e Meio-Norte

Para as condições tropicais, aqui entendidas aquelas nas quais não ocorrem frios de forte intensidade, devido ao fato do conjunto de posicionamentos geográficos (altitude e latitude) serem menores em relação às do Sul do País, há um maior número de gêneros e, dentro desses, várias espécies passíveis de serem cultivadas. Assim, há no gênero *Eucalyptus* L'Her (Brooker, 2000) ao menos três espécies que foram ou estão sendo cultivadas: *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana*, havendo predomínio de híbridos interespecíficos entre as duas primeiras, denominados "urograndis". Em outro gênero, *Corymbia* (Hill; Johnson, 1995), se destacam os cultivos comerciais da espécie *C. citriodora*, também largamente empregado em cruzamentos com *C. torelliana*.

A Embrapa é uma empresa de pesquisa com mais de quarenta unidades regionais no País, notadamente voltada para produtos agrícolas e animais e não dispõe, em muitas delas, de recursos materiais e humanos direcionados para execução de pesquisas florestais. Além dessa dificuldade, somam-se no Centro-Oeste as longas distâncias rodoviárias entre municípios nos quais se localizam os polos industriais, além dos plantios de florestas comerciais estarem em solos não apropriados para cultivos agrícolas. Diante dessas limitações, na década 2000, o programa de pesquisas foi orientado por estratégias como: a) reduzido número de espécies; b) foco em sementes de matrizes coletadas em testes da rede nacional, em áreas e regiões com condições edáficas assemelhadas em São Paulo e Minas Gerais; c) desenvolvimento de segunda geração de seleção genética no País; d) obtenção de germoplasma híbrido por meio de cruzamentos naturais em bases da Embrapa, localizadas em Campo Grande, MS e Goiânia, GO.

Na década seguinte, com material já melhorado e coletado na forma de sementes, empreendeu-se a formação de parcerias público-privadas, formando bases de melhoramento em Niquelândia, GO e Rio Verde, GO, voltadas para testes de progênies híbridas e seleção de germoplasma apto para propagação clonal.

Em 2008, a Embrapa Florestas estabeleceu contrato de parceria por dez anos com a Empresa Anglo American Níquel do Brasil S.A. por meio da sua Unidade Codemin,

instalada no município de Niquelândia, norte do Estado de Goiás e que utiliza madeira de eucalipto como fonte energética no processo industrial. A parceria objetivou o melhoramento genético com a seleção de genótipos com elevada produção de madeira, tolerância a estresse hídrico, densidade básica da madeira elevada, resistência às principais doenças e usos múltiplos da madeira. Em 2010, por um mesmo período de duração, a Embrapa Florestas estabeleceu contrato de cooperação técnica com a Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (Comigo) (Rio Verde, GO) visando o melhoramento genético de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia,* para obter clones altamente produtivos em biomassa, tolerantes a estresses hídricos e a pragas e doenças. Nesse espaço de tempo, nas fazendas florestais da Comigo, foram selecionadas e avaliadas populações, progênies e clones experimentais. Como resultados das parcerias havia um conjunto de clones elite no âmbito de campo que, para serem alçados à categoria de cultivares comerciais, necessitavam ser devidamente avaliados quanto ao comportamento na clonagem em escala comercial, quanto à qualidade da madeira e também validados em diversos ambientes produtivos. No final da década de 2010, novas parcerias público-privadas foram estabelecidas com produtores de mudas clonais em Toledo, PR e Manduri, SP. Essas parcerias visam a ampliação dos germoplasmas clonais e validação do desempenho dos mesmos para usos múltiplos da madeira em diversos ambientes, bem como o lançamento de cultivares.

O Programa de Melhoramento Genético da Embrapa também conduz: a) populações de melhoramento de *Corymbia maculata* e *C. torelliana* (Ponta Porã, MS, Niquelândia, GO e Rio Verde, GO); b) um banco de conservação de *C. maculata*, sob o qual foram implantadas mudas de *C. torelliana* visando cruzamentos, em conjunto com o Instituto Florestal de São Paulo, em Pirajú, SP; c) testes de progênies de novas introduções de *E. pellita* (procedência Papua Nova Guiné) (Ponta Porã, MS, Niquelândia, GO e Rio Verde, GO) e de *E. crebra*, este voltado à região do Semiárido brasileiro.

As prioridades do melhoramento genético, em termos de características para as espécies de ambos os gêneros consideradas estratégicas foram classificadas em cinco categorias, conforme seguem:

- Caracteres de crescimento das árvores: diâmetro na altura do peito (DAP), comprimento do tronco comercial e volumes, de massa verde e biomassa da madeira.
- Características silviculturais das árvores: retidão do fuste, espessura, ângulo de incidência e desrama dos galhos, circularidade na base do fuste e sanidade.
- Características físicas da madeira para fins energéticos: densidade básica e produção energética.
- Caracteres tecnológicos da madeira para processamento mecânico: rachaduras de topo das toras e das tábuas.

- Capacidade de emissão de rebrotes de minicepas, enraizamento de miniestacas e volume de raízes ativas.

Esse conjunto de atributos atende a fase inicial de prospecção de germoplasma clonal, sendo que, por ocasião da validação, outras características e indicadores são definidos visando atender demandas comerciais a partir da madeira produzida.

Com vistas à obtenção de híbridos e materiais puros melhorados, a Embrapa Florestas desencadeou atividades de experimentação, seleção e melhoramento genético como se seguem.

Eucalyptus grandis

No final da década de 1990, a Embrapa Florestas iniciou um processo de coleta de sementes em matrizes geneticamente selecionadas de algumas espécies oriundas da introdução realizada no início da década de 1980 e que foram intensivamente avaliadas em diversas condições ambientais, em várias regiões brasileiras. No caso de *E. grandis*, 581 lotes de sementes na forma de progênies de polinização aberta representaram o produto dessa ação, sendo colhidas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná. Para avanço da geração de seleção e constituição de uma nova população melhorada foi utilizada a seleção recorrente intrapopulacional, mediante o plantio em dezembro de 2002 de 90 progênies, cada uma delas representada por 54 indivíduos, em São Carlos, SP, prevalecendo progênies de origem da macrorregião de Atherton, QLD (75 matrizes) em relação a de Kenilworth, QLD (15 matrizes), ambas na Austrália. A seleção genética foi realizada para produtividade de madeira com base na característica diâmetro à altura do peito (DAP), sendo também selecionados em anos sucessivos indivíduos por valores genéticos para outros caracteres de interesse do melhoramento, como retidão e conicidade do fuste, diâmetro de galhos e ângulo de inserção destes no fuste e tolerância a doenças do fuste. Avaliações do DAP aos 8, 25, 48 e 72 meses de idade permitiram a condução de desbastes seletivos tendo como base o ordenamento pelo valor genético aditivo e por observações de campo, sendo praticadas intensidades variadas de seleção (Tabela 17).

Tabela 17. Resultados da seleção em teste de 90 progênies de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* em São Carlos, SP. Plantio efetuado em dezembro de 2002**.**

Avaliação	Número de plantas	Intensidade de seleção (%) e número de matrizes	DAP médio da população (cm)
2003/2006	4.860	11,5 / 563	5,3
2007	153	3,1 / 153	25,8
2008	153	3,1 / 153	31,8
2010	152	3,0 / 146	39,1

Essas ações foram combinadas com a avaliação dos genótipos para os cancros causados por *Chrysoporthe cubensis* e *Coniothyrium zuluense*, conforme a Tabela 18 que, seguidas de desbastes seletivos e mortalidade, reduziram o teste de progênies para 146 matrizes (3%), com média geral de 39,1 cm para DAP obtido em 69 progênies. Sob condição natural de infecção, 58% das matrizes selecionadas apresentaram resistência a ambos os tipos de cancro avaliados no campo. A formação de uma nova população, tendo como base somente as matrizes selecionadas como resistentes ao cancro, aprimorou o processo de melhoramento intrapopulacional para minorar a presença de alelos que condicionaram a susceptibilidade aos cancros.

Tabela 18. Resultados das avaliações de resistência natural de matrizes de *Eucalyptus grandis* para cancros na base, meio e parte superior do fuste em São Carlos, SP, aos 7 anos de idade.

Tipos de cancros	Matrizes resistentes sob infecção natural	
	Número	Porcentagem
Chrysoporthe cubensis (1)	137	94
Coniothyrium zuluense (2)	89	61
C. cubensis e *C. zuluense*	85	58

Ressaltam-se as dificuldades de obtenção de propágulos vegetativos do germoplasma de *E. grandis* plantado em São Carlos, SP, como pode ser observado aos sete anos de idade, em que 14 genótipos foram anelados e dos quais não foram obtidas brotações. Aos seis anos de idade foram colhidas 4,2 kg de sementes em 76 matrizes e depositadas no Banco de Sementes da Embrapa Florestas. Das seleções efetuadas aos 13 anos em 75 árvores, 24 foram selecionadas para serem cortadas e avaliadas para serraria, por apresentarem sanidade, boa forma, galhos preferencialmente finos e pouco persistentes até 10 m de altura e elevado volume de tronco. Em 2019, aos 17 anos, as matrizes permanecem no campo para avaliações e usos futuros.

Corymbia maculata

Com a expansão do cultivo de eucaliptos na maioria dos biomas do País surgiram, além de novas doenças, outras demandas de usos múltiplos da madeira. Com essa finalidade, alguns remanescentes das introduções anteriores de eucaliptos e corimbias foram considerados para uso *per se* e em cruzamentos. Visando atender futuras necessidades, foram coletadas sementes de um banco de conservação genética composto por 25 matrizes, implantado em 1984 na Floresta Estadual de Piraju, SP (latitude 23°06'46"S, longitude 49°23'08"O e altitude 575 m) das procedências de Wondai State Forest e Woodum State Forest Gympie, QLD, Austrália. Foram implantadas

populações em Goiânia, GO, Niquelândia, GO, Ponta Porã, MS e Rio Verde, GO (Tabela 19) visando seleção recorrente intrapopulacional. A espécie *C. maculata* apresenta copa reduzida, madeira densa, fuste reto e ausência de bifurcações, características essas favoráveis para aplicação em sistemas silvipastoris. Entretanto, apresentam elevado percentual de indivíduos com forte exsudação de extrativos, chamados de "kino", contidos em bolsas e veios. Esses extrativos surgem como resposta de defesa das árvores a estresse hídrico e a outros eventos desfavoráveis como ventos fortes, insetos que perfuram fustes ou qualquer ferimento na casca que estimule a sua formação em espécies do gênero *Corymbia*, o que compromete a emissão de rebrotes do fuste quando induzidos por anelamento basal.

Tabela 19. Locais em que foram implantadas populações base de *Corymbia maculata* com vistas à formação de raças locais e aproveitamento em cruzamentos com outras espécies.

Município/ estado	Local	Área (ha)	Ano de implantação	Número de matrizes selecionadas
Goiânia, GO	Fazenda Retiro, Embrapa Arroz e Feijão	1,0	2004	324
Ponta Porã, MS	Campo Experimental de Ponta Porã, Embrapa Agropecuária Oeste	1,0	11/2010	Não realizada
Niquelândia, GO	Horto Rio Vermelho, empresa Anglo American Níquel Brasil	1,0	12/2009	Não realizada
Niquelândia, GO	Horto Aranha, empresa Anglo American Níquel Brasil	1,0	12/2009	População descartada
Rio Verde, GO	Fazenda Florestal IV, Cooperativa Comigo	1,0	02/2010	121

A obtenção de rebrotes de matrizes aneladas foi prejudicada devido à emissão de exsudações do fuste, em Goiânia, GO, as quais limitaram drasticamente o objetivo de reprodução clonal. Assim, a manutenção de áreas com a referida espécie visa tão e somente a possibilidade de aproveitamento do potencial da espécie em cruzamentos interespecíficos restritos às espécies de corimbias, uma vez que são incompatíveis cruzamentos com as espécies de eucaliptos. Dessa forma, as populações vêm sendo selecionadas e mantidas com vistas a cruzamentos naturais com *C. torelliana,* espécie essa já implantada na mesma área física em Rio Verde, GO e no banco de conservação genética de Piraju, SP.

Cruzamentos entre *C. torelliana* e *C. maculata* apresentam forte heterose e melhoram as chances de se obterem genótipos clonáveis devido à participação de *C. torelliana*. A maior capacidade de rebrota e de enraizamento das miniestacas, normalmente, é repassada aos híbridos interespecíficos quando a espécie *C. torelliana* é usada

como parental feminino (Assis, 2012). A partir do uso intensivo de clones nos plantios comerciais, as estruturas produtoras de sementes no campo e também as sementes armazenadas em câmaras mantidas sob climatização perderam espaço, tendo em vista a menor produtividade de madeira dos plantios a partir de mudas seminais em relação às clonais, bem como devido aos elevados custos para a colheita de sementes.

Eucalyptus cloeziana

Um dos condicionantes do uso de eucaliptos em plantios comerciais no Brasil tem sido a facilidade na produção de mudas clonais em larga escala. Embora possua a característica ímpar de produção em abundância de sementes por árvore, anualmente, a espécie *E. cloeziana* não se destaca em termos de área cultivada. Há inúmeras razões para tal, dentre as quais o fato de não ser utilizada para a produção de celulose e papel devido ao expressivo volume de reagentes necessário para a pré-hidrólise e cozimento Kraft (Mezzomo, 1996). Para carvão, devido à friabilidade, aqui entendida como capacidade de se esfarelar durante todo o manuseio, gerando finos que são considerados perdas, não é possível o seu uso nos altos-fornos. Além desses aspectos, a granulometria muito baixa do carvão de *E. cloeziana* é responsável por problemas técnicos na siderurgia, gerando resíduos também entendidos como perdas, que podem chegar a 30%.

Entretanto, dada à considerável durabilidade natural de sua madeira, a espécie se torna altamente atrativa para uso na propriedade rural, mesmo sem ser submetida a tratamento contra fungos e cupins (Boland et al., 2006). Dessa forma, trabalhos com a espécie visando usos da madeira em sistemas de cultivos de frutíferas tutoradas por estruturas, como uva e maracujá em espaldeira, cercas, dentre outros usos, são fatores que fizeram com que a Embrapa atuasse no melhoramento da espécie, na tentativa de obter genótipos superiores quanto à produção de madeira, propriedades tecnológicas da madeira, tolerância a fatores bióticos e abióticos e capacidade de clonagem (elevada emissão de rebrotes e enraizamento das miniestacas).

Em Goiânia, Ponta Porã e Niquelândia, populações-base de melhoramento foram implantadas em 2004, 2007 e 2009, respectivamente, sendo que esta última não apresentou genótipos com crescimento adequado, enquanto que a de Ponta Porã não foi selecionada. As sementes das populações de *E. cloeziana* são provenientes de 96 matrizes selecionadas geneticamente em testes instalados em Minas Gerais e São Paulo. Nas matrizes selecionadas em Goiânia, em 2013, foi aplicada a clonagem em 30 matrizes (corte das árvores, limpeza do solo e desbastes de árvores próximas). Após 40 dias do corte das árvores, a eficiência na emissão de brotações foi de 75%, sendo obtidos rebrotes de 28 matrizes, os quais foram transportados para viveiro de mudas clonais da Comigo, em Rio Verde. Foram avaliadas minicepas no jardim clonal quanto à capacidade de emissão de brotações e quanto à tolerância à ferrugem.

Em relação a doenças, foi constatada a presença de ferrugem do eucalipto nas minicepas pela presença de esporos amarelos típicos. Nas mudas de diversas idades foram observados o estado geral de desenvolvimento, o sistema radicular, se abundante e ou formado apenas por calos e por raízes rudimentares. Nas cepas, as brotações dos genótipos suscetíveis foram altamente afetadas pela ferrugem causada pelo fungo *Puccinia psidii* (Alfenas et al., 2004). Da mesma forma, observou-se intensa mortalidade de mudas após o enraizamento das miniestacas, nas várias coletas efetuadas durante o período de seis meses, provocadas por manchas foliares, não formação de raízes e suscetibilidade à ferrugem. Entretanto, foi constatada a variabilidade intraespecífica de *E. cloeziana* para resistência à ferrugem.

Em teste clonal multiespécies, instalado em abril de 2016 na Fazenda Florestal IV da Comigo, foram incluídos seis clones de *E. cloeziana* provenientes de rebrotes de matrizes submetidas a corte raso da população base de Goiânia, GO (brs 805, 806, 809, 819, 821 e 822). Em avaliações aos 7, 11 e 23 meses de idade foi constatado que os clones de *E. cloeziana* apresentaram fraco desempenho silvicultural, bifurcações, galhos grossos e escurecimento de folhas dos galhos baixos, sendo por isso descontinuados.

Na população selecionada em Goiânia, a Embrapa registrou a cultivar seminal BRS 364 (Porteira) sendo que um plantio seminal dessa cultivar se encontra em processo de validação em solo classificado como Neossolo Quartzarênico, na Fazenda Florestal I da Comigo. Nessas condições foi observada alta variabilidade fenotípica e menor crescimento em DAP (21%) em relação a padrões comerciais de clones de eucalipto "urograndis" e de *E. urophylla*, bem como por características silviculturais, culminando com a indicação de inaptidão dessa cultivar para as condições locais. Outra questão considerada plausível para explicar o desempenho abaixo do esperado foi a possibilidade de uma parte das sementes terem sido autofecundadas, em face da possível carência de polinizadores para recombinar adequadamente as matrizes do pomar de Goiânia ou eventual falta de sincronismo de época de florada entre as matrizes. Adicionalmente, pode ter ocorrido a endogamia, como resultado de cruzamentos entre indivíduos aparentados, contribuindo para perda de vigor e baixa qualidade das árvores quanto à forma e à presença de bifurcações. Devido às condições observadas, a citada unidade de validação da cultivar foi desativada e, consequentemente, a comercialização de sementes foi descontinuada.

Alternativamente, com vistas à seleção de genótipos de *E. cloeziana* com características favoráveis ao enraizamento de miniestacas (índices comerciais acima de 50%), foram selecionadas em viveiro, com base em vigor, 1.000 mudas formadas das colheitas de sementes das matrizes de Goiânia, em 2013. A partir destas foram selecionados 200 genótipos quanto à resistência à ferrugem e manchas foliares que, implantados em canaletão em minijadim clonal, com seleção daquelas com maior emissão de rebrotes para formar mudas que deram origem a novas cepas, as quais finalmente

produziram mudas para avaliação no campo.

Na Fazenda Florestal IV foi implantado em março de 2017 um teste clonal fase I (primeira avaliação) contendo parcelas de 20 plantas (5 plantas em 4 linhas), em 3 blocos constituídos por 52 genótipos, dentre os quais dez são da série brs 1000 (*E. cloeziana*), proveniente de clonagem de mudas seminais. A fonte das sementes foi a população base de Goiânia. Na primeira avaliação, aos 12 meses de idade, o genótipo brs 1255 se destacou em crescimento e pela forma diferenciada para o padrão da espécie quanto à disposição de ramos e folhas. O mesmo comportamento foi observado em novo teste clonal implantado em março de 2018 na Fazenda Florestal II da Comigo. O teste será continuamente avaliado até a idade de seis anos (2023). Por apresentar crescimento favorável, o genótipo brs 1255 foi relacionado em 2018 para desenvolvimento de protocolos clonais com parceiros viveiristas da Embrapa nos estados de São Paulo e Paraná.

Eucalyptus pellita

Uma das características de *E. pellita* procedente da coleta da Austrália efetuada pela Embrapa na década de 1980 foi o baixo desempenho em crescimento no País, de forma que não há cultivares puras clonais e tampouco interesse por sementes no Brasil oriundas dessa introdução. A outra é a proximidade genética com *E. urophylla*, que demonstrou vantagens em múltiplas características em relação a *E. pellita*. Entretanto, algumas características de *E. pellita*, tais como florescimento precoce, bom crescimento mesmo sob condições de estresse hídrico, aliada às características silviculturais desejáveis como boa forma do fuste, madeira densa e rica em extrativos, alta capacidade de rebrota e enraizamento, além de agregar resistência à ferrugem (*Puccinia psidii*), murcha do eucalipto (*Ceratocystis fimbriata*) e mancha foliar (*Cylindrocladium pteridis*) (Fonseca et al., 2010; Guimarães et al., 2010), fizeram com que fosse necessário manter essa espécie em programas de melhoramento.

No intuito de ampliar a base genética da espécie no Brasil com procedência de melhor desempenho, como a de Papua Nova Guiné, a Embrapa Florestas importou sementes de 24 árvores matrizes de um pomar clonal de segunda geração da Austrália em 2008, para estruturar uma população-base de melhoramento e, posteriormente, obter genótipos para fins clonais adaptados às condições tropicais. A partir desse germoplasma, testes de progênies foram implantados em quatro ambientes da região Centro-Oeste do Brasil (Tabela 20). Pretende-se com essa introdução e seleções em múltiplos ambientes obter cultivares com melhores características para a produção de carvão com fins energéticos, bem como para outros usos da madeira.

Tabela 20. Fatores condicionantes do crescimento nos ambientes dos testes de progênies de *Eucalyptus pellita*.

Condicionantes de desenvolvimento	Municípios, estados e locais			
	Niquelândia, GO Horto Aranha	Niquelândia, GO Horto Rio Vermelho	Rio Verde, GO Fazenda Florestal IV	Ponta Porã, MS Campo Experimental da Embrapa
Latitude (Sul)	14°19'25.86"	14°28'44.87"	18° 7'56.87"	22°33'21.71"
Longitude (Oeste)	48°41'40.21"	48°47'32.12"	51° 7'36.86"	55°38'52.69"
Altitude (m)	589	595	650	640
Tipo de solo	Latossolo Vermelho Distrófico típico	Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico	Neossolo Quartzarênico	Latossolo Vermelho Distrófico
Precipitação média anual (mm)	1.500	1.500	1.766	1.660
Temperatura máxima média (°C)	30,5	30,5	29,8	23,6
Temperatura mínima média (°C)	20,2	20,2	17,6	16,4

Em Rio Verde, GO, o experimento foi implantado no ano de 2010, sob delineamento experimental de blocos completos casualizados, com 40 repetições, parcelas de uma planta e espaçamento de 3 m x 3 m. Na idade de 43 meses foram mensurados o diâmetro à altura do peito (DAP), coletadas folhas e amostras de madeira, via baguetas, de 773 árvores. Algumas propriedades físicas da madeira como densidade básica determinada por baguetas extraídas à altura de 1,30 m indicaram, para 41 genótipos, uma média de 0,475 g/cm^3 comparativamente aos clones comerciais AEC 144 e GG100, respectivamente, com 0,450 g/cm^3 e 0,430 g/cm^3 (Tabela 21). A maior densidade observada na mesma idade em um genótipo de *E. pellita* foi 0,573 g/cm^3.

Tabela 21. Densidade básica da madeira de matrizes de *Eucalyptus pellita* e de clones comerciais, obtida por meio de baguetas, procedentes da Fazenda Florestal IV, Comigo, Rio Verde, GO.

Germoplasma	Número de árvores amostradas	Idade (meses)	Densidade básica (média) (g/cm^3)	Densidade básica (limite superior) (g/cm^3)	Densidade básica (limite inferior) (g/cm^3)
E. pellita	41	43	0,475	0,573	0,364
Clones comerciais (2)	3	46	0,440	0,450	0,430

As folhas desses genótipos foram enviadas ao Laboratório de Genética de Plantas e Biotecnologia da Embrapa Cenargen para extração de DNA, avaliação da diversidade genética e genotipagem. Constatou-se que o nível de diversidade foi inferior ao de populações de *E. grandis* e *E. urophylla*, com somente cerca de 20 mil SNPs

polimórficos e que as sementes poderiam ser provenientes de mistura de progênies e, ou de enganos por ocasião da colheita das sementes (Müller et al., 2017).

Aos 52 meses de idade ocorreu na região um evento climático com fortes ventos, que ocasionou a perda de áreas comerciais (por acamamento e quebra de fuste) contíguas ao experimento, causando consideráveis prejuízos. Dessa forma, optou-se por abater todas as 41 matrizes para nova indução de brotações. Após clonagem e avaliações qualitativas em mudas formadas foram selecionados 33 clones que foram plantados na Fazenda Florestal I em junho de 2015. Esses clones foram avaliados em duas ocasiões, respectivamente aos 9 e 33 meses de idade, nos quais foram consideradas características silviculturais, sendo atribuídas as seguintes notas aos clones: 1 - Fraco desempenho, acamamento, suscetibilidade a doenças foliares, bifurcações e quebramentos; 2 - Desempenho mediano e 3 - Superioridade em relação às testemunhas. Destacaram-se: a testemunha, clone AEC 144 (*E. urophylla*), com nota 2,8; brs 722 (*E. pellita*) com nota 2,5 e BRS QUARENTA (*E. urophylla*) com nota 2,0. Quanto ao DAP (diâmetro à altura do peito), destacaram-se: BRS QUARENTA, com 16,5 cm; AEC 144, com 15,3 cm e brs 722, com 14,3 cm. A média de DAP do clone comercial AEC 1528, plantado na mesma época em frente ao teste clonal, resultou em 14,9 cm. Os genótipos AEC 144, AEC 1528 e BRS QUARENTA possuem as características de genótipos de *E. urophylla* e apresentam volume de crescimento superior aos de *E. pellita*. Entretanto, não apresentaram a densidade básica da madeira elevada, típica de *E. pellita*. Dessa série, apenas brs 722 foi indicado para prosseguimento de avaliação em novos testes. Outros testes clonais se encontram em desenvolvimento nas fazendas florestais da Comigo. Ao germoplasma existente na Comigo, foram adicionados rebrotes de matrizes coletadas nos testes de progênies de *E. pellita* instalados em Niquelândia (Tabela 22).

Tabela 22. Características dos clones experimentais de *Eucalyptus pellita* selecionados nos testes de progênies em Niquelândia, GO, aos 7,5 anos de idade. Volume de massa verde sem casca do tronco.

Clone	Densidade básica (g/cm³)	Comprimento comercial do tronco (m)	Volume de madeira (massa verde) (m³/árvore)
brs 3079	0,643	19,07	0,317
brs 3081	0,666	21,00	0,265
brs 3043	0,657	20,80	0,240
brs 3084	0,568	20,16	0,222
brs 3063	0,642	19,00	0,219
brs 3064	0,634	18,20	0,201
AAC 33(1)	0,633	22,37	0,200
brs 3088	0,533	20,00	0,198
brs 3042	0,544	20,00	0,191
brs 3040	0,654	20,30	0,174

(1)Clone comercial da Codemin.

Em Niquelândia, os experimentos foram implantados em 2009, em dois locais (Tabela 20), sob o mesmo delineamento empregado em Rio Verde e em Ponta Porã. As avaliações do diâmetro à altura do peito (DAP) foram realizadas aos 3; 4,8; 6 e 7,5 anos de idade. No processo seletivo, devido ao alto índice de quebras e mortalidades observadas na idade de 7,5 anos, foi utilizada a seleção fenotípica, tendo como referência a forma da copa, o DAP e a espessura da casca avaliada in loco. Em julho de 2017, aos 90 meses de idade, procedeu-se a uma nova seleção por DAP, casca fina e retidão do fuste, além de outras características silviculturais. Foram selecionadas 24 matrizes, 13 no Horto Aranha e 11 no Horto Rio Vermelho, sendo medido o comprimento total e comercial do tronco, bem como obtidas amostras de madeira na forma de discos, em seis partes do tronco, para a determinação de propriedades físicas.

Devido à forte estiagem verificada no período após os cortes e das dificuldades operacionais da equipe da Codemin, diante das estruturas de viveiros estarem inoperantes por danos provocados por eventos climáticos, em 2018 foram colhidos rebrotes de apenas 16 matrizes, sendo os mesmos transportados em tubos tipo falcon para a base de melhoramento da Embrapa junto à Cooperativa Comigo em Rio Verde, GO, os quais foram, então, submetidos ao enraizamento. Dessas matrizes, nove enraizaram (Tabela 24), formando-se mudas que se encontram em canaletão, na forma de minicepas. Após completar-se o processo de formação, as mudas irão compor testes clonais.

No Campo Experimental de Ponta Porã, MS, em área física da Embrapa Agropecuária Oeste, foi implantado no final do ano de 2009 o quarto teste de progênies. Em função de dificuldades operacionais para a condução de um trabalho que culminasse com a transformação do experimento em uma área produtora de sementes ou ainda na clonagem dos melhores genótipos, deu-se prioridade para a transformação do módulo experimental em um Banco Ativo de Germoplasma.

Eucalyptus crebra

A introdução da espécie *E. crebra* objetivou atender a produção de madeira em locais com alta deficiência hídrica anual, como é o caso da região Semiárida brasileira. Como forma de contornar o baixo desempenho da espécie em decorrência da ausência de melhoramento e do seu menor desempenho quando comparada a outras espécies de eucalipto, a forma de reprodução clonal, desde que viável, parece ser a mais eficiente na obtenção de árvores de maior produção de madeira. Adicionalmente, vislumbra-se seu uso em cruzamentos controlados como forma de transferir alelos de tolerância ao estresse hídrico para clones comerciais tradicionalmente de alto desempenho e cultivados em outras regiões do País. Aliado ao crescimento em ambientes de altas temperaturas anuais e elevada deficiência hídrica, *E. crebra* apresenta elevada densidade básica da madeira, podendo chegar a 0,910 g/cm^3 (Oliveira et al., 2010).

A partir de sementes importadas pela Embrapa Semiárido e repassadas à Codemin pela Embrapa Florestas, foram produzidas mudas, sendo que, em fevereiro de 2013, foi implantado no Horto Aranha um teste com 31 progênies de polinização aberta, sob delineamento de blocos casualizados contendo 30 repetições e parcelas de uma planta, no espaçamento de 3 m x 2 m, sendo utilizados como testemunhas cinco clones comerciais desenvolvidos pela Codemin: AAC 30, AAC 33, AAC 86, AAC 117 e AAC 645. O objetivo deste experimento foi a formação de população-base de melhoramento tolerante ao estresse hídrico, situação bastante comum na região, seleção de indivíduos para clonagem e testes de comprovação de superioridade em ambientes contrastantes.

A primeira avaliação de desempenho desse teste, aos seis meses de idade, durante o período de quase ausência total de chuvas (maio a outubro), indicou que, em média, os indivíduos de *E. crebra* apresentaram altura igual a 1,43 m, sendo que o desempenho das testemunhas foi em média de 3,05 m. Foi observado que o teste de progênies de *E. crebra* apresentou, a partir da idade de nove meses, melhoria em seu desenvolvimento no período das chuvas. Análises genético-estatísticas resultantes de dados mensurados em novembro de 2013 evidenciaram elevada taxa de sobrevivência das plantas (99,7%), após nove meses de idade. A estimativa da acurácia seletiva foi de elevada magnitude (99,6%), adequada ao preconizado em experimentos de melhoramento genético. A altura média das progênies de *E. crebra* foi 1,83 m e, para as testemunhas, a altura média foi 4,55 m. Essa diferença já era esperada, pois as progênies de *E. crebra* provêm de material não melhorado. Por outro lado, as testemunhas eram clones comerciais elite de alto desempenho, selecionados na região de Niquelândia, sendo um dos genitores a espécie *E. urophylla*, tradicionalmente com elevado desempenho em adaptação e produção de madeira na região.

No ranqueamento dos valores genotípicos dos tratamentos, constatou-se que os clones AAC 645, AAC 33, AAC 86, AAC 117 e AAC 30 obtiveram os melhores desempenhos (em ordem decrescente). Em seguida, as cinco melhores progênies, em ordem decrescente de desempenho, foram identificadas pelas numerações 30, 21, 16, 22 e 29. Foi observado, pelas avaliações dendrométricas realizadas pela Anglo American, que apenas um indivíduo de *E. crebra* apresentou altura superior à média dos clones comerciais.

Na idade de 18 meses foram avaliados fenotipicamente os indivíduos das 31 progênies de *E. crebra* mais as testemunhas clonais por meio da seguinte escala: 1 - Muito bom; 2 - Bom; 3 - Regular; 4 - Ruim e 5 - Descartável. Os resultados observados foram: 205 árvores das testemunhas clonais classificadas com nota 1; 12 árvores de *E. crebra* com nota 2; 58 árvores de *E. crebra* com nota 3; 431 árvores de *E. crebra* com nota 4 e 536 árvores de *E. crebra* com nota 5 (Tabela 23). Um total de 54 parcelas foram contabilizadas como falhas e/ou mortas. Doze matrizes foram selecionadas para clonagem, sendo atribuída às mesmas a identificação de clones experimentais (brs).

Novas avaliações foram realizadas aos 37 e 45 meses, sendo que nessa última foram abatidas 15 matrizes e obtidas amostras de madeira na forma de discos dos troncos, nas seguintes posições: base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% (limite de 5,0 cm de diâmetro) para avaliação da relação cerne/alburno, espessura da casca e densidade básica da madeira. Os dados de comprimento total e comercial do tronco, bem como as estimativas de volume de madeira sem casca, por árvore, e a média aritmética da densidade básica da madeira por matriz são apresentados na Tabela 24. Observa-se a baixa produtividade de madeira, que contrasta com a expressiva densidade básica, que exibe valores acima de 0,700 g/cm^3 em idade inferior a quatro anos. Ressalta-se que as testemunhas (clones comerciais plantados pela Codemin) foram retiradas do experimento mediante corte raso efetuado aos 18 meses de idade, por apresentarem crescimento muito destacado em relação às progênies, portanto limitando o desempenho do germoplasma em avaliação.

Das 15 matrizes de *E. crebra* da Tabela 24, foi possível apenas o resgate de rebrotes de três matrizes (brs 3007, brs 3014 e brs 3019), em julho de 2017, os quais foram acondicionados em tubos tipo *falcon* contendo água, sendo posteriormente transportados em recipiente de isopor, com o objetivo de evitar exposição ao calor até o viveiro de mudas da Comigo em Rio Verde, GO, com o intuito de serem submetidas ao processo de obtenção de mudas clonais. Essa medida foi necessária, pois os equipamentos que compõe o sistema de multiplicação clonal da Codemin não estavam em operação naquele ano.

Em março de 2018, uma nova avaliação fenotípica do teste de progênies indicou a necessidade de realizar o desbaste silvicultural, sendo também feita a seleção das melhores árvores, que se aproximaram de 12 metros de altura, para coletar sementes melhoradas em anos subsequentes. Na ocasião, nenhuma árvore se encontrava em florescimento ou frutificação. Como resultado da atividade de clonagem, a Codemin resgatou apenas uma matriz de campo, correspondente ao clone brs 3007, que se encontra no banco clonal implantado em dezembro de 2017 em Rio Verde, GO, no Projeto RV II-C, juntamente com outros germoplasmas clonais. Em Rio Verde, GO, estão sendo replicados os clones brs 3007 e brs 3014 na forma de minicepas, sendo que, em 2019, foram remetidas mudas para Petrolina, PE, para dar prosseguimento aos testes de produtividade nas condições do Semiárido.

Tabela 23. Indivíduos candidatos à clonagem selecionados pela avaliação fenotípica em *Eucalyptus crebra* efetuada à idade de 18 meses, em Niquelândia, GO.

Bloco	Parcela	Tratamento	Altura (6 meses) FEC[1] (m)	Altura (9,2 meses) IEC[2] (m)	Altura (16 meses) FEC[1] (m)	DAP (16 meses) FEC[1] (m)	Diferença de altura (16 menos 9 meses) (m)	Código para clonagem
1	17	16	2,01	2,80	5,20	4,30	2,40	brs 3001
2	12	30	1,65	2,20	5,00	4,30	2,80	brs 3002
4	20	26	1,46	2,10	5,30	4,93	3,20	brs 3003
8	14	4	1,76	2,55	5,25	4,14	2,70	brs 3004
8	11	21	2,00	2,80	5,40	4,77	2,60	brs 3005
10	24	25	1,75	2,90	5,70	5,41	2,80	brs 3006
11	11	2	1,68	1,90	5,30	3,82	3,40	brs 3007
13	12	23	1,70	2,10	5,40	4,46	3,30	brs 3008
18	13	31	1,75	2,70	6,00	5,19	3,30	brs 3009
19	21	21	1,64	2,50	5,30	4,30	2,80	brs 3010
27	3	28	1,81	2,35	5,40	5,41	3,05	brs 3011
33	12	10	1,34	1,50	5,80	3,98	4,30	brs 3012

[1]FEC: Final da estação chuvosa; [2]IEC: Início da estação chuvosa.

Tabela 24. Caracteres por matriz de *Eucalytpus crebra* e estimativas dos volumes de massa verde e biomassa do tronco sem casca aos 45 meses de idade, em Niquelândia, GO.

Matriz	Comprimento total do tronco (m)	Comprimento comercial do tronco (m)	Densidade básica (g/cm³)	Volume de madeira (massa verde) sem casca (m³)	Volume de Biomassa sem casca (m³)
brs 3003	11,50	8,00	0,650	0,012	0,0178
brs 3004	11,50	7,70	0,649	0,011	0,0173
brs 3005	12,95	8,65	0,675	0,013	0,0187
brs 3007	10,20	6,50	0,725	0,010	0,0137
brs 3008	10,50	6,50	0,618	0,008	0,0128
brs 3009	12,00	8,50	0,630	0,015	0,0243
brs 3011	12,10	8,70	0,614	0,013	0,0214
brs 3012	13,00	9,10	0,649	0,014	0,0213
brs 3013	11,40	7,90	0,640	0,011	0,0179
brs 3014	11,65	8,40	0,712	0,016	0,0224
brs 3015	11,40	8,10	0,681	0,013	0,0184
brs 3016	11,40	8,00	0,683	0,013	0,0183
brs 3017	12,35	9,10	0,669	0,016	0,0242
brs 3018	11,00	8,00	0,633	0,012	0,0193
brs 3019	12,30	9,00	0,644	0,015	0,0225

Híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

As espécies *E. grandis* e *E. urophylla* apresentam notórias características que embasaram muitos programas de melhoramento no País. A primeira se caracteriza por apresentar rápido crescimento volumétrico, excelente forma do fuste, madeira de baixa densidade, suscetibilidade ao cancro e à ferrugem e aos frios de forte intensidade. Por sua vez, *E. urophylla* apresenta comportamento distinto em relação a *E. grandis* quanto à estabilidade em múltiplos ambientes, mesmo sob estresses climáticos e algumas características diferenciadas, como fácil rebrota e resistência às principais doenças, tornando-a ideal para efetuar cruzamentos com *E. grandis*. Dessa combinação resultou o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, conhecido popularmente como eucalipto "urograndis", o qual não pode ser nominado como espécie, mas constitui, junto com seus parentais, o trio de ouro do cultivo dos eucaliptos no Brasil.

Em 2003 esforços foram conduzidos para a obtenção de progênies híbridas da combinação de *E. grandis* e *E. urophylla*, nas bases de melhoramento genético de Goiânia, GO e Campo Grande, MS. A base tropical da expansão de plantios comerciais de eucaliptos está centrada nessa combinação, visando reunir as qualidades de crescimento rápido e da madeira de *E. grandis* com a rusticidade e resistência às doenças e facilidade de enraizamento de *E. urophylla*, além da heterose para caracteres de crescimento (Assis, 2000).

As progênies de *E. urophylla* têm como origem matrizes das procedências Montes Egon e Lewotobi (Indonésia), cujas sementes foram coletadas nos testes de primeira geração de seleção no Brasil, nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Na base de melhoramento de Goiânia, GO, o programa concentrou esforços na geração de progênies híbridas. Cinquenta progênies de polinização aberta das duas espécies, representadas cada uma por 42 indivíduos, as quais tiveram as parcelas implantadas de forma intercalada em fevereiro de 2003. A estratégia do plantio foi a de maximizar ganhos genéticos pela seleção de genótipos das duas espécies no mesmo local físico, atendendo os princípios da seleção recorrente recíproca. Nos genótipos de *E. grandis* foram avaliados os caracteres de crescimento e resistência à infecção natural do cancro (*Chrysoporthe cubensis*), sendo a altura média das plantas obtida aos 6 e 10 meses e o DAP médio aos 18 meses. Para as matrizes selecionadas aos 36 e 70 meses, o DAP foi 4,9 cm maior para *E. grandis* em relação a *E. urophylla*, confirmando a característica de rápido crescimento de *E. grandis*.

A seleção na base de melhoramento de Goiânia, GO foi realizada com base em valores genéticos aditivos individuais por espécie associada às avaliações silviculturais, o que permitiu desbastes seletivos que reduziram a população para 175 matrizes, aos cinco anos de idade, sendo 93 de *E. grandis* e 82 de *E. urophylla*. Aos seis anos e meio foi realizada a primeira colheita de sementes das matrizes de *E. grandis* (74 matrizes de 38 progênies) e de *E. urophylla* (34 matrizes de 23 progênies), sendo que as mudas das progênies híbridas foram formadas na base de melhoramento da Anglo American Níquel do Brasil - Unidade Codemin, no Horto Aranha, em Niquelândia, GO. Nesse município, foram instalados testes formados por 105 progênies em dois locais: Horto Aranha e Horto Rio Vermelho. Como resultado, foram selecionadas 21 árvores no Horto Rio Vermelho e 82 no Horto Aranha, por desempenho de crescimento, objetivando o maior volume de madeira, característica essa predominante para fins energéticos. Após resgates e clonagem foram obtidos 52 clones, sendo que somente 32 foram submetidos a teste de campo em janeiro de 2016 por limitação do número de mudas (Tabela 25). Entretanto, uma muda de cada um dos 52 clones foi encaminhada em 2015 para a base de melhoramento na Comigo em Rio Verde, GO para multiplicação em viveiro.

Da mesma forma que em Niquelândia, GO, em Rio Verde, GO foi instalado teste de progênies com mudas formadas a partir de sementes colhidas em Goiânia, GO. No processo seletivo foi utilizada seleção truncada, sendo selecionados 80 indivíduos com CAP igual ou superior a 27 cm. Esse critério de seleção foi estabelecido com base na média de desempenho de testes clonais multiespécies comerciais, implantados em adjacência ao teste de progênies. Dentre os genótipos selecionados foram excluídos candidatos a clones que apresentaram, ao menos, uma das seguintes características eliminatórias: fuste tortuoso, inclinado, ovalado, alta conicidade, bifurcado, com grã retorcida, galho grosso, além de incidência de doenças e insetos-praga.

Em Campo Grande, MS foi instalado em 2003 um segundo teste com 60 progênies de polinização aberta de *E. grandis* e *E. urophylla*, representadas por 36 indivíduos em parcelas implantadas de forma intercalada. O diâmetro à altura do peito médio, aos 12 e 15 meses de idade, foi 4,13 cm e 8 cm, respectivamente. A seleção precoce foi efetuada tendo como base os valores genéticos aditivos individuais por espécie, por fenótipos para resistência à infecções do cancro associado às avaliações silviculturais. Na idade de 42 meses, a população foi reduzida para 136 matrizes - *E. grandis* (84) e *E. urophylla* (52) - com média geral de 22,4 cm (DAP) e 16,2 m (altura). Aos 80 meses foram iniciadas colheitas de sementes em *E. grandis* e em *E. urophylla*. As mudas das progênies, possivelmente híbridos interespecíficos, foram formadas na base de melhoramento da Comigo, em Rio Verde, GO, sendo que o teste composto por 81 progênies foi implantado em agosto de 2011.

Das seleções efetuadas nos testes de progênies hibridas, em Niquelândia, GO e em Rio Verde, GO foram formados clones experimentais submetidos a testes clonais implantados em março e em maio de 2013 e junho de 2014 (Tabela 25).

Tabela 25. Testes clonais de multiespécies de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp., em diferentes fases de avaliação, estabelecidos em áreas de empresas parceiras em diversos anos e locais.

Mês e ano de plantio	Testes Clonais (TCs)	Municípios, estados e locais
Dez/2009	Multiespécies Fase I	Rio Verde, GO (Comigo), Fazendas Florestais I e IV e Ponta Porã, MS (Embrapa)
Mar/2013	TC fase I com 180 clones "urograndis"	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal IV
Mar/2013	Testes ampliados de cultivares BRS 362 e BRS 363	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal IV
Mai/2013	*E. pellita*, *E. cloeziana*, "urograndis" e *E. urophylla*	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal IV
Jun/2014	TC fase I com 239 clones "urograndis" seleção na Comigo e na Codemin	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal II
Out/2014	TC Fase I, com 6 clones de corymbias (*C. citriodora* x *C. torelliana*) e *C. torelliana* x *C. citriodora*)	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal I
Mar/2015	Teste ampliado da cultivar *E. cloeziana* (BRS 364)	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal I
Mar/2015	Teste ampliado da cultivar *E. urophylla* (BRS Quarenta)	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal I
Jun/2015	TC Fase I *E. pellita* com 30 clones na FL 1	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal I
Jan/2016	Teste clonal Fase I com 32 clones "urograndis"	Horto Cristo Redentor (Codemin), Niquelândia, GO
Abr/2016	TC Fase II com 16 clones de *E. cloeziana*, *E. pellita* e *E. urophylla*	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal IV
Mar/2017	TC Fase II com 52 clones de "urograndis" (Niquelândia), *E. cloeziana* e híbridos de corimbias (*C. citriodora* x *C. torelliana*)	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal IV
Mar/2018	TC Fase II com 52 clones de "urograndis" (Niquelândia), *E. cloeziana* e híbridos de corimbias (*C. citriodora* x *C. torelliana*)	Rio Verde, GO (Comigo), Faz. Florestal II

Observações: 1ª) Clones de *C. citriodora* x *C. torelliana* - selecionados em viveiro a partir de sementes coletadas em árvores matrizes de *C. citriodora*; 2ª) Clones de *C. torelliana* x *C. citriodora* - selecionados em viveiro a partir de sementes coletadas em árvores matrizes de *C. torelliana*.

Clones multiespécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*

Testes clonais objetivam avaliar o desempenho de clones experimentais, em diferentes condições ambientais, para lançamento de cultivares comerciais. Para isso, são empregadas três formas de avaliação: teste clonal fase I, geralmente com elevado número de clones e limitado número de plantas por parcela; teste clonal fase II, somente com os melhores clones selecionados na fase I, com menor número de repetições e parcelas constituídas por um maior número de plantas, geralmente acima de 20 e, finalmente, testes ampliados contemplando os melhores clones da fase II, com número superior a 300 plantas por clone, dispostas em forma de blocos ou na forma ampliada, sem limitação de número de plantas. Este último visa simular plantios comerciais e serve como validação para registro e proteção de cultivares comerciais junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

Em um programa de melhoramento essas atividades são realizadas continuamente, à medida que são gerados e selecionados indivíduos com capacidade para se tornarem candidatos a clones comerciais. Entretanto, dependem da capacidade operacional dos parceiros quanto à multiplicação clonal das mudas obtidas a partir de resgate de genótipos selecionados no campo. Como a seleção ocorre nos testes de progênies e em populações de espécies florestais, são necessárias mais de duas décadas para o desenvolvimento de um clone comercial. Dessa forma, apenas a partir de 2009, quase uma década após o início do programa de melhoramento genético na região, foram possíveis de serem instalados testes clonais nas suas diversas fases (Tabela 25).

Alguns resultados podem ser relatados a partir dos testes clonais com vistas a múltiplos usos da madeira, como alguns caracteres que embasaram o registro da cultivar clonal BRS QUARENTA (Tabela 26), além de propriedades como maior tolerância a formigas cortadeiras e à competição com espécies de gramíneas durante a fase inicial de desenvolvimento. Resultados de testes clonais de BRS QUARENTA (*E. urophylla*), na Fazenda Florestal I, em Rio Verde, GO, apresentam para o caractere DAP, aos quatro anos de idade, a dimensão de 5% e 2% acima das testemunhas comerciais, respectivamente os clones AEC 144 e AEC 1528.

Tabela 26. Estimativa de volume médio de madeira e propriedades físicas de dois clones de *Eucalyptus urophylla*, aos 80 meses de idade, na Fazenda Florestal I, em Rio Verde, GO.

Clone	Comprimento comercial do tronco (m)	Volume de massa verde por árvore (m^3)	Densidade básica[1] (t/m^3)	Biomassa[2] (t/árvore)
BRS QUARENTA	24,85	0,350	0,537	0,188
AEC 144	23,66	0,340	0,559	0,190

[1]Média ponderada da árvore; [2]Volume de madeira do tronco sem galhos.

Outros resultados visando múltiplos usos da madeira foram obtidos de avaliações realizadas aos seis anos para características silviculturais, em laboratório e em serraria. Para tal, foram abatidas árvores, realizadas amostragens de madeira para a caracterização física e processadas em serraria as duas primeiras toras de cada árvore (Tabela 27). A biomassa dos clones, entendida como a madeira seca em estufa, foi estimada após a determinação da densidade básica da madeira (ABNT, 2003) com aproveitamento comercial. Quanto aos clones, de modo geral, todos apresentaram maior volume de massa verde por árvore em relação à testemunha do teste (clone comercial AEC 144) (Tabela 28). Registra-se o fato de que os clones experimentais foram avaliados por meio de apenas uma árvore por parcela, enquanto o clone testemunha teve avaliadas árvores do plantio comercial ao lado do teste clonal.

Tabela 27. Clones experimentais de *Eucalyptus* spp, avaliados e processados em serraria.

Clones	Número de árvores abatidas	Número de amostras de madeira (cunhas)	Número de amostras para serraria (toras de 2,5 m de comprimento)
brs 53	4	40	2
brs 57	3	30	2
brs 58	4	40	2
brs 59	3	30	2
Tratamento 17	1	10	1
Tratamento 44	1	10	1
Tratamento 148	1	10	1
AEC 144	3	30	3
brs 80	2	10	-
brs 83	1	-	-
Total	23	210	14

Tabela 28. Estimativas de volume de massa verde, de densidade da madeira, biomassa e relação cerne/alburno de clones de *Eucalyptus* spp., na idade de 6 anos.

Clones experimentais	Volume de massa verde por árvore (m^3)	Densidade básica[(1)] (g/cm^3)	Biomassa por árvore (kg)	Relação cerne/alburno
brs 53	0,464	0,489	227,26	0,57
brs 57	0,500	0,479	240,13	0,54
brs 58	0,408	0,502	204,96	0,64
brs 59	0,493	0,488	240,67	0,70
brs 79N	0,543	0,469	254,53	0,63
brs 69N	0,603	0,477	287,76	0,58
Tratamento 44	0,504	0,486	245,19	0,34
AEC 144	0,309	0,487	151,05	0,55

[(1)]Média ponderada da árvore.

As produtividades de massa verde (volume verde) e biomassa (madeira seca) dos clones experimentais serão posteriormente confirmadas em testes clonais ampliados de validação em vários locais. Quanto à densidade básica média, os resultados se situam dentro dos padrões observados para genótipos de *E. urophylla* e do eucalipto "urograndis" (híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*), ou seja, próximo dos 0,500 g/cm^3 em base seca. Apenas o clone brs 58 superou esse indicador, provavelmente por apresentar maior volume de cerne em relação ao volume de alburno na madeira. Essa relação foi 0,64 para o clone brs 58, enquanto que, para AEC 114, foi 0,55. Como esperado, o clone brs 80, com a menor relação cerne/alburno na idade de cinco anos, não apresentou madeira que possibilitasse bom aproveitamento para fins energéticos.

Com vistas a avaliar a produção de energia e a umidade da madeira foram coletadas amostras ao longo de cinco posições do comprimento comercial do tronco (base, 25%, 50%, 75% e 100%), tendo-se como limite de medição para esse comprimento a posição correspondente ao diâmetro de 5 cm. Pode-se observar que quanto mais densa a madeira, menor **é** a quantidade de água contida na mesma, como se pode observar no clone brs 58, que apresentou a maior densidade básica (Tabela 28) e a menor umidade na madeira (Tabela 29). Dessa forma, espera-se maior produtividade energética de clones de maior densidade e menor umidade. Entretanto, a produção final maior de biomassa por clone predomina sobre a produção final energética. Na mesma Tabela é apresentada a produção energética estimada das amostras em laboratório, considerando a madeira absolutamente seca, que remete a um poder calorífico superior (PCS) e a um poder calorífico útil (PCU) quando a umidade da madeira se encontra entre 20% e 30%, situação essa comumente obtida após secagem natural no

Tabela 29. Umidade média e estimativas de produção energética da madeira total de uma árvore dos clones, na idade de 6 anos, avaliados na Comigo, Fazenda Florestal IV, em Rio Verde, GO.

Clones experimentais	Umidade da madeira em base seca (%)	Produção de energia PCS[(1)] (Gj)	Produção de energia PCU[(2)] (Gj)
brs 53	102,0	3,81	2,59
brs 57	108,0	4,02	2,73
brs 58	98,0	3,43	2,33
brs 59	102,0	4,03	2,74
brs 79N	116,0	4,26	2,90
brs 69N	113,0	4,82	3,28
Tratamento 44	104,0	4,11	2,79
AEC144	112,0	2,53	1,72
brs 80 (5 anos)	112,0	3,29	2,24
Média geral	107,4	3,81	2,59

[(1)]PCS base: 4.000 kcal/kg, equivalente a 0,0167 Gigajoule (Gj); [(2)]PCU base: 2.720 kcal/kg, equivalente a 0,0114 Gigajoule (Gj).

campo decorridos por volta de dois meses. A diferença de 30% entre PCS e PCU é dada pela umidade da madeira que, quanto maior, menor será a energia aproveitada durante a queima, diminuindo a eficiência energética, pois parte do calor liberado durante a queima é utilizado para evaporar a água livre presente na madeira.

Quanto ao uso da madeira para obtenção de serrados, a madeira das duas primeiras toras (comprimento de 2,55 m) de cada árvore selecionada foi processada mecanicamente logo após o corte. Ressalta-se que não houve manejo do teste clonal para a melhoria da qualidade da madeira, tradicionalmente aplicada como raleio e podas de galhos ainda verdes. O desdobro das toras foi realizado em serraria portátil da Comigo, seguindo a prática tradicional de desdobro para obtenção de tábuas (cortes paralelos sequenciais com rotação do bloco em 180° ao se aproximar da medula). A espessura da tábua foi fixada em 2,5 cm, tendo larguras variáveis, sendo que as observações e medições das rachaduras de extremidades foram realizadas em tábuas úmidas.

Observa-se na Tabela 30 que o clone brs 58 apresentou o menor índice de rachaduras de tábuas na condição úmida (IRTU) (média da somatória das rachaduras dos dois extremos). Uma das características do clone brs 58 é o de apresentar grã entrecruzada, a qual pode reduzir a resistência mecânica, aumentar deformações por ocasião da secagem e dificultar acabamentos, enquanto o clone brs 59 apresentou o maior índice de rachaduras. Os clones com comprimento de rachaduras menores que 10 cm em tábuas na condição úmida foram considerados como potenciais para serraria no âmbito da presente avaliação.

Tabela 30. Caracteres de crescimento (DAP e comprimento comercial), índice de rachaduras de tábuas úmidas (IRTU) e outras observações de clones de *Eucalyptus* spp., na idade de 6 anos. Comigo, na Fazenda Florestal IV, em Rio Verde, GO.

Clones experimentais	DAP (cm)	Comprimento comercial do tronco (m)	IRTU (cm)	Observações quanto a usos e ou características
brs 53	22,9	26,1	4,6	Forte presença de quino na madeira
brs 57	23,5	26,3	4,8	Cerne pouco pronunciado com distribuição irregular
brs 58	22,3	26,0	1,4	Grã entrecruzada
brs 59	22,5	27,8	48,3	Descartada para uso em serraria
brs 79N	23,7	26,5	0,0	Sem rachaduras com cerne bem destacado
brs 69N	25,2	27,1	0,0	Sem rachaduras com volume expressivo de cerne
Tratamento 44	23,2	28,1	69,0	Descartado por rachaduras
AEC 144	19,0	25,9	9,2	Rachaduras pronunciadas
brs 80 (5 anos)	21,1	26,1	-	Não avaliado em serraria

De forma geral, a densidade básica da madeira dos clones não destoou do esperado, aos seis anos de idade, confrontando-se com dados disponíveis na literatura, indicando que, para fins energéticos, a madeira dos clones ainda não apresenta o seu maior potencial energético nos plantios comerciais, isso porque a densidade tende a aumentar com a idade. Prevalece sobre essa característica o volume de massa verde, que ainda constitui o mais importante fator a ser considerado. Especificamente na presente situação, alguns clones tiveram resultados expressivos em relação ao clone utilizado como testemunha (AEC 144). Este, nas condições locais observadas, não apresentou resultados satisfatórios, evidenciando uma produção de biomassa seca de 151 toneladas por hectare, aos seis anos de idade. Os sete clones experimentais (brs) que foram avaliados para produtividade de biomassa produziram, em média, 37,2% a mais do que o referido clone comercial, largamente plantado pela Comigo. Essas produtividades serão confirmadas por ocasião dos testes de validação. Neste particular, para fins energéticos, o clone brs 59 resultou 37,2% a mais em biomassa e em energia, em relação ao AEC 144. Além da melhor produtividade, a relação cerne/alburno maior (21,4%) contribuiu para tal.

Quanto a outros possíveis usos, como obtenção de peças serradas notadamente das duas primeiras toras, os melhores resultados foram dos clones brs 58, brs 69N e brs 79N. As avaliações para usos em serraria serão continuadas na idade de 12 anos, pois a Comigo se dispôs a manter 50% da área experimental para cortes apenas em 2025. O clone brs 57 se destacou por apresentar um cerne "difuso", o que sugere a possibilidade do seu uso para fins energéticos, na forma de carvão vegetal, bem como para ser utilizado como postes de madeira tratada mediante impregnação com soluções contendo sais preservativos, sob processos de vácuo-pressão em autoclave. Essas características ainda serão avaliadas no laboratório de madeira da Embrapa Florestas em Colombo, PR. Quanto a usos em sistemas integrados de cultivo, como no ILPF (integração lavoura-pecuária-floresta), o clone brs 53 deixou a desejar quanto à qualidade da madeira, bem como por expressivas rachaduras e presença de bolsões e veios de extrativos acumulados na madeira ("kino"). Essas características, que agora depõem contra o referido clone, não foram detectadas à idade de três anos, na qual foi considerado o melhor clone na seleção de campo, sendo que a provável causa foi uma forte interação do genótipo com o ambiente provocada por estresses hídricos e térmicos. Visando avaliar o desempenho silvicultural desse clone ao ambiente, o mesmo será avaliado em outros locais sob condições edáficas e climáticas diversificadas. Os testes com os clones brs 69N e brs 79N dependem da possibilidade da presença e coleta de rebrotes das matrizes abatidas bem como da capacidade de enraizamento dos mesmos no sistema de propagação clonal.

O estabelecimento de novas parcerias público-privadas com produtores de mudas clonais em Toledo, PR e Manduri, SP, visando a ampliação do germoplasma clonal e validação do desempenho do mesmo para usos múltiplos da madeira em diversos

ambientes, permitirá acelerar o lançamento de cultivares comerciais. Além do foco nas espécies apresentadas, o Programa também conduz populações de melhoramento de *Corymbia maculata* e *C. torelliana* em Niquelândia, GO e Rio Verde, GO, bem como em conjunto com o Instituto Florestal de São Paulo em Pirajú, SP, um banco de conservação de *C. maculata*, no qual foram implantadas mudas de *C. torelliana* visando cruzamentos entre essas espécies. Com essas ações espera-se atender os objetivos estabelecidos no Programa de Melhoramento que, em sua primeira fase, visa dotar os pequenos e médios produtores de florestas comerciais de tecnologias que contribuam com o aumento e a estabilidade das produtividades, bem como ampliem o uso da madeira nos processos industriais e domésticos.

Considerações finais e perspectivas

Os eucaliptos e os corimbias movimentam ativamente a economia brasileira pelo importante papel que desempenham em diferentes segmentos de cadeias produtivas, especialmente naquelas em que o produto florestal madeira participa diretamente. Nesse contexto, a atuação da Embrapa e de seus parceiros públicos e privados têm trazido substanciais benefícios à cultura dos eucaliptos no Brasil, contemplando uma grande gama de ecossistemas que possuem aptidão e amparo legal para a utilização comercial dos citados gêneros. A empresa tem participado de forma expressiva das etapas que caracterizam um programa de melhoramento genético, por si só complexo e de resultados que demandam longos períodos de tempo para atingir a maturidade e, consequentemente, para serem efetivamente aproveitados pelos segmentos produtores dessa importante matéria-prima, por meio de plantações florestais.

Dentre as contribuições advindas dos trabalhos conduzidos ao longo dos últimos 40 anos, merecem destaque: i) a introdução de germoplasmas, ampliando a base genética de espécies pré-existentes e inserindo novos materiais genéticos de pesquisa, possibilitando consequentemente a ocupação de áreas marginais e favorecendo a consolidação da silvicultura nas novas fronteiras de cultivo; ii) o melhoramento intra-populacional, elevando progressivamente os níveis de adaptação, produtividade e qualificação das espécies; iii) a hibridação interespecífica, agregando características adaptativas, silviculturais e tecnológicas na descendência; iv) a clonagem de genótipos altamente selecionados para otimizar os rendimentos no campo e na conversão da matéria-prima em energia ou produtos industrializados.

Diante dos cenários de mudanças climáticas globais e aumento da ocorrência de eventos potencialmente danosos às plantações florestais de eucaliptos, tais como frios de alta intensidade, altas temperaturas, secas prolongadas, tornados e outros fenômenos meteorológicos extremos, novos desafios se apresentam aos melhoristas, na busca de materiais genéticos que possam fazer frente a tais adversidades. O mesmo

se aplica ao aumento da incidência de pragas e doenças, decorrentes da expansão da área plantada e das próprias alterações climatológicas, as quais conjuntamente tendem a favorecer os organismos que utilizam as plantas como substrato para a sua sobrevivência.

Paralelamente, em face da diversificação e sofisticação dos usos da madeira para atender as necessidades das indústrias e dos usuários finais, abrem-se novas perspectivas para o melhoramento genético, na medida em que as características desejadas passarão a ser prospectadas dentro da variabilidade natural disponível nos diferentes germoplasmas.

Considerando o histórico dos trabalhos conduzidos pela Embrapa e seus parceiros e levando-se em conta os eventos naturais, sejam abióticos ou bióticos, mais a contínua busca por melhores rendimentos e qualificação da madeira, pode-se afirmar que a área de melhoramento genético deverá continuar desempenhando um papel estratégico para garantir o sucesso da silvicultura de eucaliptos no Brasil como provedora de bens e serviços à sociedade.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 11941:2003**: madeira: determinação da densidade básica. São Paulo, 2003.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2004. 442 p.

ARNOLD, R. J.; CLARKE, B.; LUO, J. **Trials of cold-tolerant eucalypt species in cooler regions of south central China**. Canberra: ACIAR, 2004. 106 p. (ACIAR. Technical reports, 57).

ASSIS, T. F. de. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES, 2000, Noosa. **Proceedings**... Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 63-74.

ASSIS, T. F. **Relatório de visitas à Arcelor Mittal Bioflorestas**, 17. [S.l.]: Assistech, 2012. 15 f.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINIG, D. A.; McDONALD, M. W.; TURNER, J. D. **Forest trees of Australia**. 5th ed. Collingwood: CSIRO Publishing, 2006. 736 p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semiárido brasileiro**. Brasília, DF, 2005. 32 p.

BROOKER, M. I. H. A new classification of the genus *Eucalyptus* L'Hér. (Myrtaceae). **Australian Systematic Botany**, v.13, p. 79-148, 2000. DOI: https://doi.org/10.1071/SB98008.

CABRAL, J. I. **Sol da manhã**: memória da Embrapa. Brasília, DF: UNESCO, 2005. 346 p.

DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; SANTOS, R. A. V. Comportamiento de especies y procedencias de *Eucalyptus* para la región de la provincia de Petrolina-PE, Brasil. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL IUFRO, 2001, Valdivia. **Desarrollando el eucalipto del futuro**: actas. Valdivia: IUFRO: INFOR, 2001. CD-ROM.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; RIBASKI, J. **Eucalipto no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. 42 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 276; Embrapa Florestas. Documentos, 297). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1058535.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; SA, I. B.; RANGEL, J. H. de A.; MACEDO, A. G. F. Competição de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e de híbridos de *Eucalyptus* em Nossa Senhora das Dores, Sergipe, Brasil. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE RECURSOS GENÉTICOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, 8., 2011, Quito. **Proceedings** [...]. Quito: INIAP, 2011. CD-ROM.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; TAVARES, J. A.; RIBASKI, J.; SANTOS, P. E. T. dos. Performance of two hybrid clones of *Eucalyptus* planted under five spacings in the Araripe Plateau, Pernambuco, Brazil. **Acta Horticulturae**, n. 959, p. 167-171, 2012. DOI: https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.959.20.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de.; TAVARES, J. A.; SA, I. B.; MESQUITA FILHO, A. L. de. Efecto del espaciamiento sobre el desarrollo inicial del híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* en la Chapada do Araripe, Pernambuco, Brasil. In: CONGRESO FORESTAL MUNDIAL, 13., 2009, Buenos Aires. **Desarrollo forestal, equilibrio vital**. Buenos Aires: FAO, 2009. CD-ROM.

DRUMOND, M. A. Reflorestamento na região semi-árida do Nordeste brasileiro. In: NOVAIS, A. B. de; SÃO JOSÉ, A. R.; BARBOSA, A. de A.; SOUZA, I. V. B. **Reflorestamento no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 1992. p. 28-34.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; TAVARES, J. A.; OLIVEIRA, V. R. de; SA, I. B.; PEREIRA, P. S.; NASCIMENTO, C. E. de S. Influência do preparo de solo no crescimento de híbridos de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe, Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 4., 2015, Petrolina. **Experiências e oportunidades para o desenvolvimento**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 262).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT; Curitiba: Embrapa-CNPF, 1986. 89 p. (Embrapa-CNPF. Documentos, 17). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/293499.

FONSECA, R. R. G.; GONÇALVES, F. M. A.; ROSSE, L. N.; RAMALHO, M. A. P.; BRUZI, A. T.; REIS, C. A. F. Realized heritability in the selection of *Eucalyptus spp*. trees through progeny test. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, n. 10, v. 2, p. 160-165, 2010. DOI: https://doi.org/10.12702/1984-7033.v10n02a09.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; CARACIOLO, R. L. F.; MELO, I. V.; JORGE, D. L.; TAVARES, J. A.; SILVA, S. P. R. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus* sp. no Polo Gesseiro do Araripe-PE. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 331-341, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/198050985740.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; CARACIOLO, R. L. F.; SANTOS, R. C. dos; TAVARES, J. A. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 263-270, 2015. DOI: https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.827.

GALVÃO, A. P. M. O Programa Nacional de Pesquisa Florestal e suas ações pertinentes à conservação de recursos genéticos florestais. In: WORKSHOP SOBRE CONSERVAÇÃO E USO DE RECURSOS GENÉTICOS FLORESTAIS, 2000, Paranaguá. **Memórias** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 67-74. (Embrapa Florestas. Documentos, 56). Conferência.

GOLFARI, L.; CASER, R. **Zoneamento ecológico da região Nordeste para experimentação florestal**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal do Cerrado, 1977. 116 p. (PRODEPEF. Série técnica, 10).

GUIMARÃES, L. M. S.; TITON, M.; LAU, D.; ROSSE, L. N.; OLIVEIRA, L. S. S.; ROSADO, C. C.G.; CHRISTO, G. G. O.; ALFENAS, A. C. *Eucalyptus pellita* as a source of resistance to rust, ceratocystis wilt and leaf blight. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, n. 10, v. 2, p. 124-131, 2010.

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V. de; KODAMA, A. S.; LAVORANTI, O. Programa de melhoramento de eucalipto na Embrapa. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS - CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...=Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1, p. 377-385.

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. S. Systematic studies in the *Eucalypts*: a revision of the bloodwoods, genus Corymbia (Myrtaceae). **Telopea**, v. 6, p. 185-504, 1995.

IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994. 49 p. (IAPAR. Documento, 18).

IBGE. **Brasil em Síntese 2019**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html. Acesso em: 09 ago. 2019.

LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, V. R. de. Espécies e procedências do gênero *Eucalyptus* para a região do Espinhaço Meridional da Bahia. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...= Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1. p. 151-156.

MARCO, M. A.; LOPEZ, J. A. Performance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in the Mesopotamia region, Argentina. In: CRCTHF-IUFRO CONFERENCE, 1995, Hobart. **Eucalypt plantations**: improving fibre yield and quality. Hobart: CRC, 1995. p. 40-45.

MEZZOMO, L. X. **Potencialidade de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *E. citriodora* Hook, *E. urophylla* St. Blake e *E. urophylla* x *E. grandis*, cultivados na Bahia, na produção de celulose solúvel**. 1996. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MONTAGNER, L. H.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Teste de procedência de *Eucalyptus dunnii* em Colombo, PR**. Colombo: EMBRAPA-URPFCS, 1984. 2 f.

MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. de; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. da. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (org.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. p. 37-59.

MÜLLER B. S. F.; NEVES L. G.; de ALMEIDA FILHO J. E.; RESENDE JUNIOR, M. F. R.; MUÑOZ P. R.; dos SANTOS, P. E. T.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; KIRST M.; GRATTAPAGLIA D. Genomic prediction in contrast to a genome-wide association study in explaining heritable variation of complex growth traits in breeding populations of *Eucalyptus*. **BMC Genomics**, v. 18, article 524, 2017. DOI: https://doi-org.ez103.periodicos.capes.gov.br/10.1186/s12864-017-3920-2.

OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A. Avaliação de procedências de *Eucalyptus microtheca* F. Muell em Petrolina-PE. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 54.; REUNIÃO DE BOTÂNICOS DA AMAZÔNIA, 3., 2003, Belém. **Resumos** [...]. Belém, PA: SBB: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. CD-ROM.

OLIVEIRA, V. R. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; SANTOS, P. E. T. dos. ***Eucalyptus crebra***: espécie com potencial energético para a região semiárida brasileira. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 4 p. (Embrapa Semiárido. Instruções técnicas, 94). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/884346.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos. **Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 141). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/312045.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 129). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/298986.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas**: resultados e perspectivas. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 64 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 214). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898045.

PEREIRA, J. C. D; HIGA, A. R.; SHIMIZU, J. Y.; HIGA, R. C. Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, para fins energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 13, p. 9-16, 1986.

PICHELLI, K. R. (ed.). **Embrapa Florestas**: 30 anos. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 156 p. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51443/1/Livro-30anos.pdf.

PINTO JÚNIOR, J. E.; FERREIRA, C. A. **A pesquisa florestal na Embrapa 1978-1993**: versão preliminar. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 171). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/315141.

PINTO JUNIOR, J. E.; SANTOS, P. E. T. dos; AGUIAR, A. V. de; KALIL FILHO, A. N.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de; SOUSA, V. A. de. **Melhoramento genético de espécies arbóreas na Embrapa Florestas**: uma visão histórica. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 109 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 259). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/980125.

PIRES, C. l. da S.; PARENTE, P. R. Comparison of species and provenances of *Eucalyptus* in the Mogi Mirim region, São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 40, p. 314-325, 1986.

RIBASKI, J.; LIMA, P. C. F. Brasil. In: FAO. **Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina**. Santiago, 1997. p. 105-155. (FAO. Zonas Áridas y Semiáridas, 12).

SANTA CATARINA. Departamento de Geografia e Cartografia. **Atlas geográfico de Santa Catarina**. [S.l.], 1958. Não paginado.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E.; MAGALHÃES, W. L. E.; VANDRESEN, P. B. **Melhoramento genético de eucaliptos subtropicais**: contribuições para a espécie *Eucalyptus badjensis*. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. 95 p. (Embrapa Florestas**.** Documentos, 325). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1104201.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E.; SILVA, L. T. de M. da; VANDRESEN, P. B. Genetic variation for growth and selection in adult plants of *Eucalyptus badjensis*. **Genetics and Molecular Biology**, v. 38, n. 4, p. 457-464, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1415-475738420150041.

SHIMIZU, J. Y. Melhoramento de espécies florestais na Embrapa. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba. [**Anais**.]. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 75-84. (Embrapa Florestas. Documentos, 62).

WANG, G.; ARNOLD, R. J.; GARDINER, C. A.; ZHANG, J.; WU, Z. Seed source variation for growth in *Eucalyptus dunnii*; results from trials in south central China. **Australian Forestry**, v. 62, n. 2, p. 120-127, 1999. DOI: https://doi.org/10.1080/00049158.1999.10674773.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de (ed.). **Atlas climático da região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 333 p.

3

Genética: estratégias de melhoramento e métodos de seleção

Marcos Deon Vilela de Resende
Rodrigo Silva Alves

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

A cultura do eucalipto é de grande relevância para o Brasil, pois é a base que abastece de matéria-prima grandes empreendimentos industriais de base florestal, como celulose e papel e siderurgia a carvão vegetal. Além disso, tem sido usado para outras finalidades, tais quais madeira serrada, postes, bioenergia, dentre várias outras. Assim, é uma das mais importantes fontes de divisas para o país, além de contribuir para a conservação ambiental e de espécies nativas via minimização da pressão extrativista sobre os recursos florestais autóctones.

O eucalipto foi introduzido comercialmente no Brasil no início do século 20. Inicialmente, foram identificadas espécies mais promissoras para os diversos ambientes de plantio; no período de 1960 a 1980 foram realizados testes de espécies e procedências; subsequentemente, intensificaram-se os testes de progênies e os programas de seleção recorrente intrapopulacional (SRI) (Kageyama; Vencovsky, 1983); a partir de 1990, programas intensivos de hibridação foram implementados; em 2000, iniciaram-se os programas de seleção recorrente recíproca (SRR) para o melhoramento do híbrido entre espécies divergentes (Fonseca et al., 2010) e, em 2007, iniciaram-se as pesquisas com seleção genômica ampla (Resende, 2007a, 2008; Resende et al., 2008, 2012; Grattapaglia; Resende, 2011). Atualmente, os programas de melhoramento constituem prioridade no setor florestal, a fim de se obterem genótipos superiores, principalmente para clonagem, mas também para o plantio via sementes.

O melhoramento do eucalipto no Brasil é praticado principalmente por indústrias de celulose e indústrias siderúrgicas. Melhoramento para usos múltiplos é também realizado por várias empresas do setor e pela Embrapa Florestas. Outras instituições que contribuem para o melhoramento do eucalipto são as universidades UFV/SIF, Esalq/USP/Ipef, Ufla, UFPR e Unesp, as quais geram publicações e estudos referentes a esse tema e algumas dessas fornecem também sementes melhoradas.

Atualmente, a grande maioria dos plantios de eucalipto no Brasil é realizada com clones derivados de plantas híbridas. Várias estratégias baseadas na hibridação têm sido utilizadas para a produção de clones superiores. Assim, o melhoramento vem sendo utilizado na seleção de genitores e no direcionamento dos cruzamentos dentro de programas de seleção recorrente recíproca (SRR) entre populações divergentes e também para a seleção recorrente intrapopulacional (SRI) em população híbrida sintética oriunda do cruzamento entre clones-elite com incorporação de novos clones-elite em cada geração. Este último procedimento tem sido denominado seleção recorrente intrapopulacional em população sintética (SRIPS), população essa ressintetizada a cada geração via cruzamentos controlados (Resende; Barbosa, 2005).

Este capítulo aborda, de forma sucinta, tópicos que a Embrapa Florestas concentra esforços e contribui com resultados de pesquisa científica, visando principalmente o melhoramento de eucalipto.

Germoplasma

O eucalipto pertence à divisão *Angiospermae*, classe *Dicotyledonea*, ordem *Myrtales*, família *Myrtaceae* e gênero *Eucalyptus*. O gênero *Eucalyptus* possui cerca de 600 espécies, quase todas (exceto *E. urophylla* que ocorre na Indonésia e *E. deglupta* que ocorre na Indonésia e em Papua Nova Guiné) nativas da Austrália. Uma classificação detalhada das principais espécies utilizadas no Brasil (e de outras não utilizadas no Brasil, mas empregadas pela indústria de celulose no mundo) é apresentada por Eldridge et al. (1993).

As espécies *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. pellita* são comumente empregadas pela indústria de celulose e cultivadas para este fim em regiões tropicais e subtropicais, assim como os seus híbridos. Destas, *E. grandis* e *E. saligna* são espécies próximas, pertencentes a Série *Salignae* e *E. urophylla* e *E. pellita* são também espécies próximas. As espécies da Secção *Maidenaria* são utilizadas pela indústria de celulose e cultivadas para este fim em regiões temperadas e subtropicais.

Para a produção de energia (carvão), as espécies mais recomendadas para regiões tropicais são *E. camaldulensis*, *E.urophylla*, *E. cloeziana* e *E. tereticornis*, as quais apresentam maior densidade da madeira. Destas, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* são espécies muito próximas. No Brasil, os materiais genéticos mais plantados para este fim são: clones de eucalipto *urocam* (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*); *urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*); *E. urophylla*; e *E. cloeziana*. Para a produção de óleo essencial uma das espécies mais plantadas é *Corymbia citriodora*.

O subgênero *Symphyomyrtus* contempla a maioria das espécies de interesse econômico no Brasil, como *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e seus híbridos que representam a quase totalidade dos plantios de Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia. Destacam-se ainda neste subgênero as espécies *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. pellita* e *E. globulus* como estratégicas aos programas de hibridação, como portadoras de genes para características especiais tais como densidade, resistência à deficiência hídrica, resistência a doenças e qualidade da matéria-prima.

Eucalyptus grandis é uma das principais espécies para a silvicultura brasileira como matéria-prima para papel e celulose e mais recentemente como madeira para serraria. Na década de 1960, procedências da costa sudeste da Austrália foram amplamente plantadas no Brasil com sementes colhidas em parcelas estabelecidas no horto florestal de Rio Claro, em São Paulo, e sementes importadas de Nova Gales do Sul e do Sul de Queensland, latitudes 26°S a 32°52'S. Em vários locais de plantio, e principalmente no litoral do Espírito Santo, *Eucalyptus grandis* apresentou qualidade satisfatória para a produção de celulose de fibra curta, rápido crescimento, mas com grande variação na performance produtiva e alta incidência de cancro causado pelo fungo *Chrysoporthe cubensis*. Apesar disso, vários indivíduos superiores em volume

de madeira se destacaram com tolerância ao cancro, os quais foram multiplicados para os plantios clonais de alta produtividade.

Material básico, na forma de progênies de *Eucalyptus urophylla* foi introduzido no Brasil na década de 1970 com sementes colhidas em diversas ilhas da Indonésia e apresentou boa capacidade de adaptação em vários locais, rusticidade, tolerância ao cancro, alto percentual de rebrota, porém com menor produtividade, se comparado a *Eucalyptus grandis* em alguns locais. Os híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* assumiram posição de destaque na silvicultura brasileira pela apresentação de vigor para diversas características.

Os híbridos sintéticos de polinização controlada entre indivíduos selecionados pelo seu valor genotípico, plantados em testes de progênies e/ou parcelas de avaliação para seleção e clonagem, resultaram em ganhos genéticos significativos devido aos efeitos da heterose e/ou combinação entre características.

Objetivos do melhoramento e critérios de seleção

Além da produtividade volumétrica, as propriedades tecnológicas da madeira são características essenciais nos programas de melhoramento genético atuais. No caso da produção de celulose, três características são consideradas fundamentais na economicidade do processo produtivo industrial: a produtividade de celulose por área de plantio (função do incremento volumétrico, da densidade da madeira e do rendimento em celulose), o custo da produção de madeira e o teor de lignina na madeira.

Para a produção de biorredutor, o melhoramento visa ao aumento da produtividade em carbono por hectare. Essa variável é um caráter relacionado ao volume, à densidade da madeira e ao rendimento gravimétrico. Além dessas características, a resistência mecânica do carvão e a granulometria são importantes no seu uso industrial.

Para a produção de madeira para laminação e serraria as principais características, além do crescimento volumétrico, são a não propensão a rachaduras e os problemas decorrentes da secagem, como colapso, empenamentos, encurvamentos e espiralização das fibras. Essas características são determinantes no aproveitamento industrial das toras, fator que ainda é carente na utilização do eucalipto.

Outras características essenciais na silvicultura industrial são a adaptação, a forma do fuste, quantidade e distribuição de galhos, a bifurcação, a resistência a pragas, doenças e à seca e, em algumas situações, resistência ao vento. A adaptação climática refere-se, principalmente, à adaptação ao regime pluviométrico e térmico. Em determinadas regiões a tolerância ao frio e às geadas é fator fundamental, ao passo que em outras regiões a tolerância ao calor excessivo e à deficiência hídrica é característica extremamente necessária. Em muitos germoplasmas essas duas características, resistência ao frio e à seca, são positivamente correlacionadas.

As características de qualidade da madeira são de herdabilidades mais altas e com maior controle genético aditivo, fato que é interessante ao melhoramento. Por outro lado, as características de crescimento apresentam herdabilidades aditivas mais baixas e demandam estratégias de melhoramento mais elaboradas (Cornellius, 1994; Raymond, 1995).

Estrutura da população de melhoramento

A etapa inicial de um programa de melhoramento é a definição do germoplasma a ser utilizado e, posteriormente, trabalha-se na escolha de estratégias e métodos alternativos de seleção que promovam, de forma eficiente e rápida, ganho genético. Uma vez que o objetivo do melhoramento é o aumento contínuo da expressão das características de interesse, depreende-se que o melhorista necessita trabalhar com germoplasma-base com média alta e variabilidade genética ampla. As populações base para melhoramento devem ser constituídas por um número efetivo de indivíduos suficiente para manter a variabilidade genética da população original, para fins de melhoramento e conservação (Resende, 2002).

A constituição da população de melhoramento visa o melhoramento ao longo prazo, ou seja, o aumento contínuo e progressivo das frequências dos alelos favoráveis, por meio da implementação de vários ciclos seletivos. O ganho genético ao longo prazo depende, fundamentalmente, da variabilidade genética potencial, ou seja, daquela variabilidade que é mantida mediante ciclos seletivos e é liberada por meio da recombinação, ao final de cada ciclo de seleção. Assim, a questão do estabelecimento das populações de melhoramento deve ser analisada sob o ponto de vista da teoria dos limites seletivos. O caminho seguro (sem risco de perdas de alelos favoráveis) em direção à obtenção do teto seletivo das populações implica a manutenção de um tamanho efetivo populacional adequado. Dessa forma, os ganhos genéticos na população de melhoramento em cada ciclo seletivo devem ser maximizados para uma condição de restrição no tamanho efetivo populacional (Resende et al., 1995; Resende, 2002, 2015).

É importante relatar que o tamanho efetivo populacional necessário para a obtenção do teto seletivo, de maneira geral, não é de grande magnitude, situando-se na faixa de 30 a 60 (Pereira; Vencovsky, 1988). O importante é, por ocasião da seleção, considerar o tamanho efetivo populacional.

Delineamentos de cruzamento

Indivíduos fenotipicamente superiores são selecionados por apresentarem características desejáveis, mas é necessário avaliar se produzirão progênies também superiores. A única maneira de avaliar o valor genético, nesse caso, é cultivando sua progênie de tal maneira que permita uma estimativa de seu valor genético como genitor, ou seja, por meio de teste de progênies, o qual permite avaliar se a superioridade fenotípica do genitor é causada pelo ambiente ou pelo genótipo.

A geração de progênies pode ser obtida mediante policruzamentos, onde um grupo de indivíduos selecionados, genitores femininos e masculinos, são intercruzados naturalmente em um pomar de recombinação. Nesse caso, são geradas famílias de meios-irmãos. Por outro lado, cruzamentos aos pares, realizados artificialmente, permitem maior direcionamento de acordo com os objetivos da seleção, gerando famílias de irmãos germanos.

A geração de famílias de irmãos germanos pode advir da realização de cruzamentos preferenciais positivos, onde indivíduos de maiores valores genéticos para uma mesma característica são cruzados. Pode advir também da realização de cruzamentos preferenciais corretivos, onde indivíduos superiores em valores genéticos, para diferentes características, são cruzados, visando a correção de determinados defeitos na população.

Os delineamentos de cruzamento referem-se aos tipos de progênies a serem avaliadas na população experimental e, portanto, relacionam-se com a eficiência seletiva. Os principais objetivos dos testes de progênies são: avaliação genética de parentais e geração da população base para nova seleção.

Para avaliação da Capacidade Geral de Combinação (CGC) dos parentais, um número de quatro ou cinco cruzamentos com outros parentais tem sido relatado como adequado (Fonseca et al., 2010; Resende; Barbosa, 2005). Por outro lado, os seguintes requisitos devem ser observados na geração de uma população base adequada:

- Grande número de indivíduos e razoável número de cruzamentos para permitir uma alta intensidade de seleção.
- Possibilidade de gerenciamento do parentesco entre indivíduos por meio de informações de genealogia, geradas por cruzamentos controlados.
- Tamanho efetivo adequado.
- Garantia de que cada genitor não tenha sido cruzado apenas com genitores bons ou ruins. Neste sentido, alguma forma de seleção de cruzamentos ou a utilização de policruzamentos (polinização aberta) são desejáveis.

O principal objetivo de um programa de melhoramento é desenvolver combinações genéticas entre genitores, visando a geração de descendentes superiores. Para isto,

é necessário cruzar cada genitor com um certo número de outros genitores e determinar o desempenho geral das progênies, determinando a capacidade de combinação desses genitores. Há inúmeras maneiras de combinar indivíduos para determinar o seu valor genético. Dentre elas, merece destaque o delineamento dialelo, com suas várias modalidades como: dialelo completo, dialelo incompleto, dialelo circulante, etc.

De maneira geral dialelos são úteis para avaliar valores genéticos de genitores via suas capacidades de combinação. Capacidade de combinação é o resultado da combinação dos alelos de um indivíduo com os alelos de outros indivíduos e é expresso pelo desempenho da progênie produzida. Nesse caso, tem-se dois tipos de capacidade de combinação:

- Capacidade geral de combinação (CGC) é o desempenho médio das progênies de um indivíduo particular em combinação com diversos indivíduos. Esse parâmetro é maior para genitores que apresentam maior quantidade de alelos favoráveis para a característica em avaliação. A CGC é equivalente à metade do valor genético aditivo, pois o genitor em questão contribui somente com a metade dos genes para a descendência e a outra metade advém de outros membros da população, que forneceram pólen.
- Capacidade específica de combinação (CEC) é o desempenho de uma progênie produzida pela combinação de dois genitores específicos menos a CGC dos genitores. Como são descontados os efeitos aditivos ao excluir os efeitos de CGC dos pais, a CEC depende somente da ação gênica não aditiva, ou seja, dominância e epistasia.

Quatro aspectos devem ser analisados para a escolha do delineamento de cruzamento mais adequado (Resende; Barbosa, 2005):

- Eficiência na avaliação da Capacidade Geral de Combinação (CGC) dos genitores;
- Possibilidade de identificação de cruzamentos superiores.
- Eficiência da seleção de indivíduos na população híbrida.
- Capacidade de avaliação de muitos genitores, o que é favorável em termos de intensidade de seleção e tamanho efetivo populacional e, portanto, em termos de ganho genético acumulado com as gerações de seleção.

Em nível de facilidade operacional, os delineamentos de cruzamento mais recomendados são o dialélico parcial, o fatorial desconexo e o meio dialélico desconexo. Por outro lado, mesmo delineamentos mais simples como os de polinização aberta (progênies de meios-irmãos) e pares simples (progênies de irmãos germanos) podem ser muito eficientes se associados a métodos elaborados de seleção.

De maneira geral, os cruzamentos dialélico parcial e fatorial desconexo são os mais eficientes. A eficiência na predição da capacidade geral de hibridação dos

genitores pode ser avaliada tomando-se como referência o delineamento de policruzamento, o qual propicia a eficiência máxima. Em termos de acurácia, o uso de apenas um cruzamento por genitor (delineamento em pares simples) é 37% menos eficiente que o policruzamento. O uso de três e quatro cruzamentos por genitor reduz a 7% e 6% a perda em eficiência, respectivamente. Assim, três cruzamentos por genitor é adequado, pois maximiza a eficiência da seleção de clones na população híbrida. Este é o número empregado em várias indústrias de celulose (Resende; Barbosa, 2005).

O delineamento em V apresentado por Resende (2002) deve ser usado para os genitores de maiores valores genéticos aditivos na seleção recorrente recíproca (SRR). Tal delineamento permite cruzar os melhores genitores mais vezes. Isto é uma forma de aumentar a probabilidade de obtenção de indivíduos superiores nas progênies. Considerando os dez melhores genitores de uma população, ordenados de acordo com os seus valores genéticos preditos, o delineamento em V apresentado na Tabela 1 permite definir os cruzamentos a serem realizados, quando o número total de cruzamentos é fixado em 25.

Tabela 1. Delineamento em V considerando 10 genitores e 25 cruzamentos.

Genitores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		x	x	x	x	x	x	x	x	x
2			x	x	x	x	x	x	x	
3				x	x	x	x	x		
4					x	x	x			
5						x				

Nesse caso, apenas os melhores cruzamentos são realizados e os números de cruzamentos por genitor são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Número de cruzamentos por genitor.

Genitor	Nº de cruzamentos	Genitor	Nº de cruzamentos
1	9	6	5
2	8	7	4
3	7	8	3
4	6	9	2
5	5	10	1

No caso do melhoramento interpopulacional (ou melhoramento intrapopulacional em espécies dioicas), os 25 melhores cruzamentos são dados por um delineamento fatorial 5 x 5, envolvendo os cinco melhores genitores de cada população.

Estratégias de melhoramento – seleção recorrente

Em eucalipto, a existência de dominância é suficiente para propiciar vantagem da propagação clonal sobre a sexuada e para permitir a exploração da capacidade específica de combinação (CEC) entre genitores, principalmente em nível interespecífico. Dessa forma, híbridos de *Eucalyptus* têm sido utilizados em vários países, destacando-se as combinações *E. urophylla* x *E. grandis* no Brasil, África do Sul, Colômbia e Venezuela e *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. grandis* x *E. tereticornis* e *E. urophylla* x *E. pellita* no Congo. Recentemente, *E. urophylla* x *E. grandis* x *E. globulus* também tem sido usado no Brasil.

As estratégias de melhoramento de espécies perenes resultam basicamente da combinação entre delineamentos de cruzamento, métodos de seleção e estrutura de populações. A etapa básica do processo de melhoramento refere-se à implantação de testes de progênies e testes clonais, a partir dos quais os indivíduos selecionados são recombinados para a continuidade do melhoramento e ou recomendados para plantios de produção.

Os programas de melhoramento genético florestal, assim como em outras culturas, normalmente, baseiam-se em estratégias para realizar a seleção e a recombinação genética, visando o avanço das gerações. O método de melhoramento mais utilizado na área florestal é o método da seleção recorrente, pois é o mais indicado para espécies alógamas (polinização cruzada), que é o tipo de polinização da maioria das espécies florestais (Resende; Barbosa, 2005).

A seleção recorrente é o principal método capaz de melhorar características quantitativas, controladas por muitos genes e/ou sujeitas a elevada influência ambiental, apresentando herdabilidades moderadas a baixas. Para tais características, devido ao elevado número de genes, não é possível atingir o objetivo do melhoramento em apenas um ciclo seletivo. O princípio da seleção recorrente é o aumento contínuo e progressivo dos alelos favoráveis, por vários ciclos seletivos. Para isto, conforme comentado anteriormente, o melhorista necessita trabalhar com germoplasma-base com média alta e variabilidade genética ampla, a fim de fornecer os alelos favoráveis para uma determinada característica. Para eucalipto, as estratégias de seleção recorrente assumem grande importância devido à necessidade de se obter o maior ganho possível em cada ciclo seletivo.

A seleção recorrente com base em famílias pode visar uma única população (intrapopulacional) ou duas populações (interpopulacional). Nos dois casos, compreende:

- Seleção dos indivíduos na população que se deseja melhorar para obtenção das famílias.
- Avaliação das famílias em ensaios com repetições dentro e entre ambientes.
- Recombinação das famílias ou indivíduos superiores para formar a população do próximo ciclo.

Em espécies perenes, os procedimentos de recombinação estão relacionados à eficiência seletiva de duas maneiras:

- Geralmente a etapa de recombinação coincide com a obtenção de progênies para avaliação no ciclo subsequente e, como determinados delineamentos de cruzamento propiciam uma seleção mais acurada, esta fase está relacionada à eficiência seletiva no ciclo subsequente.
- A recombinação pode ser realizada de maneira desbalanceada, com maior ênfase aos indivíduos com maiores valores genéticos. Assim, além da maximização do ganho com base na utilização de métodos acurados de seleção, ganhos adicionais podem ser conseguidos com a utilização de proporção maior de indivíduos superiores, na população de produção, e com a seleção de cruzamentos na população de melhoramento.

De maneira geral, a obtenção de novas progênies deve ser fundamentada na predição da descendência, utilizando-se as informações dos valores genéticos dos indivíduos selecionados. Dessa forma, poderão ser geradas progênies já sabidamente superiores. Verifica-se, portanto, que a eficiência dos diferentes programas de melhoramento é função dos diferentes procedimentos de seleção e recombinação (cruzamentos). Para recombinação, os seguintes tipos de famílias podem ser utilizados: famílias de meios-irmãos, de irmãos completos e endogâmicas.

A eficiência dos programas de melhoramento deve ser medida pelo ganho genético por unidade de tempo. Assim, o intervalo entre gerações desempenha relevante papel no melhoramento de espécies perenes, onde a seleção precoce deve ser uma meta constante.

A seleção recorrente intrapopulacional (SRI) visa ao melhoramento do valor genético aditivo (a) médio da população (pura ou sintética) por meio de vários ciclos seletivos. Neste processo, melhora-se também, de forma indireta, o valor genotípico (g = a + d, em que d é o efeito de dominância ou contribuição dos locos em heterozigose) médio da população. A SRI é usada no melhoramento de várias espécies de plantas visando a utilização em plantios via sementes (exploração de a) ou clonagem (exploração de g) e, geralmente, é adotada em estágios iniciais do melhoramento.

Os indivíduos superiores gerados ao final do procedimento básico (cruzamento seguido pela seleção) são intercruzados (recombinação) para a geração das famílias

híbridas de um novo ciclo seletivo. É importante relatar que nas espécies perenes há sobreposição de gerações e indivíduos de diferentes gerações são intercruzados e não apenas aqueles de determinado ciclo seletivo. Esse esquema é mais eficiente em espécies que não apresentam elevada heterose e/ou divergência genética na população de melhoramento. Caso contrário, a seleção recorrente recíproca (SRR) deve ser preferida.

Outro esquema é o cruzamento entre genitores potenciais selecionados nos testes de famílias, com base em seus valores genéticos aditivos (a). Tal esquema é usado em populações sintéticas de eucalipto e constitui a seleção recorrente intrapopulacional (SRI) propriamente dita.

A seleção recorrente recíproca (SRR) foi proposta por Comstock et al. (1949) e é a principal ferramenta para o melhoramento da média de cruzamentos interpopulacionais. Assim, deve ser utilizada no melhoramento de espécies em que a heterose é relevante nas características de importância econômica.

Em eucalipto, Resende e Higa (1990) propuseram um esquema de seleção recorrente reciproca (SRR) no contexto da estratégia de melhoramento do cruzamento ou híbrido entre populações. O esquema prevê também a utilização dos melhores indivíduos híbridos selecionados no contexto de SRR, na formação de compostos ou sintéticos, conforme a estratégia de melhoramento e seleção em populações sintéticas ou compostos. O primeiro programa de SRR em eucalipto foi implementado no Congo (Vigneron, 1992). Tal programa culminou, no primeiro ciclo de SRR envolvendo *E. grandis* x *E. urophylla*, com a obtenção de cinco cultivares clonais híbridos, num ganho genético realizado de 75% (Baudouin et al., 1997). No Brasil, vários programas de SRR para o melhoramento do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* vem sendo conduzidos, mas ainda sem resultados publicados.

A seleção recorrente recíproca (SRR) conduz ao melhoramento do híbrido interpopulacional. Para isto são melhoradas a heterose do cruzamento interpopulacional e pelo menos uma das populações envolvidas no cruzamento. A escolha de qual população a ser utilizada como testadora (na qual são utilizadas progênies intrapopulacionais para seleção) depende das propriedades genéticas das populações envolvidas. Resende (2002) apresenta uma abordagem matemática para essa escolha.

Várias opções existem para a SRR (Resende; Barbosa, 2005):

- Seleção recorrente recíproca de genitores (SRR-G).
- Seleção recorrente recíproca com S1 (SRR-S1).
- Seleção recorrente recíproca com meios-irmãos (SRR-MI ou SRR-S0).
- Seleção recorrente recíproca de genitores com híbridos intermediários (SRR-G-HI).
- Seleção recorrente recíproca com S1 e híbridos intermediários (SRR-S1-HI).
- Seleção recorrente recíproca com meios-irmãos ou S0 e híbridos intermediários (SRR-MI-HI).

- Seleção recorrente recíproca com meios irmãos e híbridos intermediários usando genitores (SRR-MI-HIG).
- Seleção recorrente recíproca com linhagens (SRR-LI).
- Seleção recorrente recíproca individual (SRRI).

Um esquema modificado ou misto entre a seleção recorrente intrapopulacional (SRI) e a seleção recorrente recíproca (SRR) promove o melhoramento da heterose em taxa similar à SRR e o melhoramento "per se" de ambas as populações envolvidas. Este esquema é denominado seleção recorrente mista (SRM) e utiliza progênies interpopulacionais para seleção e orientação da recombinação de genitores em uma população e progênies intrapopulacionais para seleção e orientação da recombinação de genitores na outra população.

A maior vantagem da seleção recorrente mista (SRM) é o maior ganho em uma das populações "per se". Assim, o seu uso é justificado em espécies perenes, quando for necessário melhorar uma população como fonte de clones (ou melhorar a adaptação de uma população pura) e esta população coincidir de ser a melhor testadora. Em espécies anuais, o uso da SRM é plenamente justificado visto que o melhoramento das populações "per se" é essencial para a extração de linhagens adequadas (boas produtoras de sementes) à obtenção dos híbridos simples.

Recentemente, surgiu a necessidade de inclusão de outras espécies nos cruzamentos visando a combinação, em um único indivíduo, das características alto crescimento, alta densidade da madeira, alto rendimento de celulose, resistência à seca, resistência a doenças e, em alguns casos, resistência ao frio. Essas espécies são *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. pellita*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. viminalis*, dentre outras.

É praticamente impossível conduzir programas de SRR para todas as combinações duas a duas dessas espécies. Em função disso, Resende e Assis (2008) propuseram uma nova estratégia de melhoramento para o eucalipto no Brasil, no contexto da indústria de celulose. Essa estratégia contempla, em um mesmo indivíduo destinado à clonagem, todas as características desejáveis e, simultaneamente, que capitaliza e melhora a heterose para crescimento, advinda de vários pares de espécies cujas combinações são sabidamente heteróticas.

A nova estratégia proposta baseia-se na obtenção de duas populações sintéticas multi-espécies e posterior SRR entre essas. Esse esquema é denominado seleção recorrente recíproca entre populações sintéticas multi-espécies (SRR-PSME) e visa congregar e melhorar simultaneamente todas as características de importância adaptativa (resistência à seca e a doenças), quantitativa (volume, densidade e rendimento) e qualitativa (teor de lignina) para a produção de celulose. As características resistência à seca e a doenças, densidade da madeira, rendimento de celulose e teor de lignina apresentam herança aditiva e devem estar adequadamente contempladas em cada uma das populações base para a SRR. No contexto da SRR essas características

serão também continuamente melhoradas na etapa da seleção de indivíduos recombinados, visando o início dos novos ciclos de SRR. A característica volume de madeira apresenta dominância alélica e, portanto, exibe heterose quando materiais divergentes são cruzados. Essa heterose é continuamente melhorada pela SRR-PSME.

Experimentação adequada

Os procedimentos de seleção serão ótimos quando os dados para a avaliação genética advirem de uma experimentação adequada. Os principais fatores que contribuem para uma experimentação adequada são: delineamentos experimentais eficientes (blocos ou látice), adequado tamanho de parcela (uma planta por parcela), número de repetições suficientes para maximização da acurácia seletiva, adequado número de locais de experimentação tendo por base o nível de interação genótipos x ambientes entre os locais de plantio.

A tecnologia de seleção atualmente disponível baseia-se no valor genético predito pelo BLUP, o qual é obtido após rigorosa correção para todos os efeitos ambientais. Assim, ocorre ajuste para a variação físico-química do solo, por meio do ajuste para os efeitos de blocos e locais. Vários estudos realizados confirmam a maior eficiência dos delineamentos com uma planta por parcela em relação aqueles com várias plantas por parcela.

Métodos de seleção e predição de valores genéticos

Na década de 1990 ocorreu um grande salto qualitativo nas metodologias analíticas de seleção genética aplicadas ao melhoramento de plantas. No melhoramento do eucalipto a seleção pode ser praticada com os seguintes objetivos:

- Seleção de genitores para cruzamento e recombinação em programas de SRI e SRR.
- Seleção de clones para recomendação visando plantios comerciais.
- Seleção de clones potenciais nas progênies híbridas.
- Seleção de genitores potenciais nas progênies em programas de SRI e SRR.
- Seleção de famílias (ou cruzamentos) para direcionar pares para a seleção recorrente recíproca individual (SRRI) ou para plantios comerciais via sementes ou clonagem.

Para todos esses objetivos, o procedimento ótimo de seleção é o BLUP para os efeitos genéticos aditivos (a), de dominância (d) e genotípicos (g), dependendo da situação. O BLUP é o procedimento que maximiza a acurácia seletiva e, portanto, é

superior a qualquer outro índice de seleção combinada, exceto aquele que usa todos os efeitos aleatórios do modelo estatístico (índice multiefeitos, conforme Resende e Higa, 1994). No caso de experimento balanceado esse índice equivale ao próprio BLUP (Resende; Fernandes, 1999). Para aplicação do BLUP são necessárias estimativas fidedignas de componentes de variância. O procedimento padrão para estimação de componentes de variância é o de máxima verossimilhança restrita (REML), o qual é superior ao método da análise de variância (ANOVA) em situação de dados desbalanceados e delineamentos não ortogonais (como blocos aumentados e alguns blocos incompletos). O procedimento ótimo de avaliação genética é, então, o REML/BLUP, o qual é também denominado de metodologia de modelos mistos.

As principais vantagens do procedimento REML/BLUP são (Resende, 2007b):

- Permite o uso de informações de parentesco (pedigree).
- Corrige simultaneamente os dados para os efeitos ambientais, estima os componentes de variância e parâmetros genéticos e prediz os valores genéticos.
- Permite comparar indivíduos através do tempo e do espaço.
- Produz resultados não viciados.
- Maximiza a acurácia seletiva.
- Maximiza o ganho genético e a eficiência dos programas de melhoramento.
- Não exige balanceamento dos dados.
- Permite utilizar, simultaneamente, grande número de informações, gerando estimativas mais precisas.
- Permite lidar com estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes locais, diferentes gerações, diferentes idades, interação genótipos x ambientes, cruzamentos dialélicos e fatoriais, delineamentos em látice, etc.).
- Permite a predição de efeitos de dominância.

No contexto da seleção recorrente no melhoramento de plantas, os métodos de seleção evoluíram seguindo aproximadamente a seguinte cronologia:

- Seleção de famílias:
  - Entre médias de família (Vencovsky, 1987).
  - BLP de famílias (White; Hodge, 1989; Bueno Filho, 1997).
  - BLP de famílias em vários locais (Resende et al., 1993).
  - REML/BLUP de famílias (Resende et al., 1996; Duarte, 2000).

- Seleção de indivíduos:
  - Entre famílias e dentro de parcela (Kageyama; Vencovsky, 1983).
  - Entre famílias corrigida e dentro de família no experimento (Resende, 1991).
  - Individual pela seleção combinada (Resende, 1991; Bueno Filho, 1992).

- Individual pelo índice multi-efeitos (IME) ou BLUP individual (Resende; Higa, 1994);
- Individual pela seleção combinada modificada (Pires et al., 1996).
- REML/BLUP individual (Resende; Fernandes, 1999; Resende, 1999; Resende; Dias, 2000).
- Modelos de regressão aleatória e Bayesianos (Resende, 1997; Resende et al., 2001a, 2001b).
- Modelos generalizados mistos (Resende, 2000a; Resende; Biele, 2002).
- Modelos mistos espaciais (Resende; Sturion, 2001, 2003).
- Modelos multivariados mistos espaciais (Resende; Thompson, 2003).
- Modelos mistos de interação social e competição (Resende; Thompson, 2003; Resende et al., 2005).
- Modelos fatores analíticos mistos (Resende; Thompson, 2003, 2004).
- Seleção genômica ampla (Resende, 2007a; Resende et al., 2008, 2012; Grattapaglia; Resende, 2011).
- Modelos mistos de dados censurados e análise de sobrevivência (Resende et al., 2014).
- Modelos mistos de normas de reação no estudo da interação genótipos x ambientes (Resende et al., 2014, Alves, 2016).
- Modelos hierárquicos generalizados mistos (método HIML/HG-BLUP) (Resende et al., 2018).

No início da década de 1990, as indústrias de celulose de eucalipto no Brasil começaram a demandar métodos acurados de seleção individual a partir da avaliação de dezenas de milhares de indivíduos mensurados no campo, em vários experimentos e locais. Estes indivíduos deveriam ser selecionados com base nos valores genéticos e não fenotípicos. A seleção entre famílias e dentro de parcelas, muito comum à época, mostrava-se inadequada para tal propósito. Havia a necessidade do desenvolvimento de métodos mais adequados. O método BLP, difundido naquela época, prestava-se apenas para a seleção entre famílias.

Em 1992 foi desenvolvido o método do índice multi-efeitos (IME) para a seleção ótima em nível de indivíduos, o qual foi implementado no software Selegen, também desenvolvido na mesma época (Resende; Higa, 1994; Resende et al., 1994). O software Selegen evoluiu gradativamente passando a incorporar o procedimento REML/BLUP (Resende et al., 1993, 1994; Resende; Oliveira, 1997; Resende, 2002). O ano de 1993 marca o início do Selegen e do uso da metodologia de modelos lineares mistos (via melhor predição linear) no melhoramento de plantas no Brasil.

Em 1997/1998 um marco importante foi a demonstração de que o IME equivalia ao procedimento generalizado do BLUP em nível individual. Até então não havia sido demonstrado formalmente na literatura internacional como um BLUP individual

ótimo poderia ser derivado, levando em conta simultaneamente as informações dos delineamentos experimentais e a teoria genética dos índices de seleção combinando informações dos indivíduos e de seus parentes. O trabalho de Resende e Fernandes (1999) permitiu então:

- Demonstração de que o IME é BLUP para o caso balanceado.
- Demonstração de que a seleção combinada e combinada modificada não são BLUP nem para o caso balanceado.
- Construção do BLUP individual passo a passo usando simultaneamente a teoria estatística, a genética e a experimental, garantido a derivação de preditores ótimos.
- Derivação de vários modelos BLUP em nível individual, para inúmeras situações experimentais e estruturas genéticas.

A teoria genérica do BLUP como procedimento ótimo foi difundida completamente a partir da década de 1970 pelos cientistas Charles Henderson nos EUA e Robin Thompson na Inglaterra, dentre outros (Henderson, 1973, 1975a, 1975b, 1976; Thompson, 1976, 1977, 1979).

Para a aplicação do BLUP são necessárias estimativas fidedignas de componentes de variância. O método ótimo de estimação de componentes de variância, com dados desbalanceados ou não, é o REML desenvolvido por Patterson e Thompson (1971) e Thompson (1973, 1977, 1980).

O procedimento REML/BLUP passou a ser usado rotineiramente no melhoramento animal no exterior, a partir da década de 1980. No Brasil, em gado de leite, passou a ser usado a partir de 1994 (Verneque; Valente, 2001). Isto se deveu ao desenvolvimento de softwares específicos que permitem tratar adequadamente a matriz de parentesco genético aditivo entre os indivíduos sob avaliação. Algoritmos para escrever diretamente essa matriz de parentesco genético aditivo foram apresentados por Henderson (1976) nos EUA e Thompson (1977) na Inglaterra.

Os primeiros softwares desenvolvidos foram o REML na Inglaterra (Robinson et al., 1982), o DFREML na Inglaterra e Austrália (Meyer, 1988) e o MTDFREML nos EUA (Boldman et al., 1993), ambos empregando o algoritmo livre de derivadas (DF). Misztal e Perez-Enciso (1993) relatam o uso do algoritmo EM, posteriormente usado no desenvolvimento dos programas BLUPF90 e REMLF90. Posteriormente, foi desenvolvido o software ASREML (Gilmour et al., 1998), que emprega o algoritmo AI desenvolvido por Johnson e Thompson (1995) e Gilmour et al. (1995).

A disponibilidade desses softwares conduziu ao início da aplicação do procedimento REML/BLUP individual ao melhoramento florestal em nível individual, a partir de 1995 (Borralho et al., 1995). No entanto, nenhuma derivação explícita do procedimento BLUP considerando as características dos delineamentos experimentais foi apresentada. Em outras palavras, modelos eram ajustados sem se saber

exatamente como as várias informações eram usadas e se o modelo ajustado era ótimo.

Os softwares mencionados, desenvolvidos para o melhoramento animal, podem ser usados adequadamente para o melhoramento vegetal em algumas situações, principalmente quando apenas os efeitos aditivos são de interesse. Com clonagem e com a diversidade dos sistemas reprodutivos em plantas, limitações existem. O software Selegen-REML/BLUP foi desenvolvido para atender a rotina dos programas de melhoramento genético vegetal e contempla as seguintes categorias de plantas: alógamas, autógamas, de sistema reprodutivo misto e de propagação clonal. Considera vários delineamentos experimentais, vários delineamentos de cruzamento, interação genótipos x ambientes e experimentos repetidos em vários locais, medidas repetidas, progênies pertencentes a várias populações, dentre outros fatores. O software não se restringe a ajustar os efeitos e apresentar os componentes de variância, mas apresenta também os valores genéticos aditivos, de dominância e genotípicos dos indivíduos, o ganho genético com a seleção, o tamanho efetivo populacional dentre outros parâmetros interessantes ao melhoramento vegetal. Do ponto de vista estatístico é também interessante, pois permite o teste da significância dos efeitos via teste da razão de verossimilhança (LRT) e análise de deviance.

Softwares como o SAS e o ASREML permitem o ajuste de um número infinito de modelos e, inclusive, modelos muito mais complexos. No entanto, o SAS apresenta limitação para lidar com matriz de parentesco e predizer valores genéticos em nível de indivíduos. Códigos para uso do ASREML para análise de alguns modelos mais comuns no melhoramento de plantas foram apresentados por Resende (2000a) e por Resende et al. (2014). O software Selegen-REML/BLUP é de fácil uso e interpretação, permitindo lidar de forma eficiente com a maioria das situações corriqueiras no melhoramento vegetal. O Selegen-REML/BLUP é gratuito para uso em Universidades e Institutos Públicos de Pesquisa no Brasil e no exterior. Alguns softwares de excelência são pagos anualmente inclusive para uso em Universidades e Institutos Públicos de Pesquisa.

É importante relatar que a metodologia de modelos mistos também contempla as falhas ou perdas de plantas que normalmente ocorrem em experimentos de campo e isto pode ser feito considerando três aspectos: trabalhando-se somente com as observações das plantas vivas; fazendo a predição dos valores genéticos para sobrevivência e posteriormente multiplicando-os pelos valores genéticos para a característica crescimento; e ajustando o número de falhas vizinhas como covariável. Este último aspecto sempre foi tradicionalmente ignorado. Entretanto, atualmente não se admite mais desconsiderar o índice de falhas vizinhas na avaliação genética. Assim, o índice de falhas tem sido avaliado no campo e incluído na análise genética para crescimento. É importante relatar que o ajuste do índice de falhas como covariável não pode ser realizado em duas etapas, conforme realizado em algumas culturas anuais.

Ao contrário, deve ser ajustado simultaneamente à estimação de componentes de variância via REML e à predição de valores genéticos individuais via BLUP.

O Software Selegen-REML/BLUP foi delineado para maximizar a eficiência global do melhoramento e aborda de forma intrincada os tópicos mencionados acima, sobrepondo esquema de seleção recorrente, delineamento de cruzamento, delineamento experimental, controle estatístico via covariável e sistema de propagação do material melhorado. Utiliza procedimentos estatísticos de eficiência máxima: procedimentos ótimos de estimação de componentes de variância e de predição de valores genéticos (Resende, 2007b, 2016).

Outras opções de análise podem ser adotadas via: Inferência Bayesiana (Resende, 2000b; Resende et al., 2001a), modelos de regressão aleatória (Resende et al., 2001), Estatística Espacial (Resende; Sturion, 2001), modelos de competição intergenotípica (Resende; Thompson, 2003), BLUP multivariado (Resende, 1999; Alves et al., 2018) e HG-BLUP (Resende et al., 2018).

Acurácia e confiabilidade

De maneira geral, os valores genéticos preditos não são iguais aos valores genéticos verdadeiros. A proximidade entre esses dois valores pode ser avaliada com base na estatística denominada acurácia (Resende, 2002), a qual refere-se à correlação entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. Quanto maior a acurácia na avaliação de um indivíduo, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito deste indivíduo.

A acurácia seletiva depende da herdabilidade da característica, da quantidade e da qualidade das informações e dos procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos. Assim, a acurácia é um parâmetro parcialmente sob controle do melhorista já que seu valor máximo é limitado pela herdabilidade da característica. Como é uma medida que está associada à precisão na seleção, a acurácia é o principal elemento do progresso genético, em que o melhorista pode alterar visando maximizar o ganho genético (Resende; Duarte, 2007).

A acurácia é também o parâmetro mais importante na comparação de métodos de seleção, pois, quanto maior o seu valor, melhor preditor do valor genético verdadeiro é o método de seleção. O quadrado da acurácia é um coeficiente de determinação e é denominado confiabilidade. A confiabilidade expressa a proporção da variação dos valores genéticos verdadeiros que é explicada pelo método de seleção (Resende, 2002).

Eficiência seletiva

Os melhoristas necessitam encurtar os ciclos seletivos e ter maior agressividade no lançamento de novas cultivares. Acumular dados experimentais na mesma geração pouco impacta o melhoramento de plantas perenes. A velocidade de troca de cultivares é um fator essencial na competitividade do agronegócio. Nesse sentido, é de consenso que a seleção em eucalipto não deve ultrapassar a idade de três anos (Rezende et al., 1994). Isto vem sendo praticado por várias indústrias de celulose.

Em culturas de propagação assexuada, para reduzir a vulnerabilidade dos plantios aos ataques de novas pragas e doenças, é importante se ter uma alta rotatividade de clones em plantios comerciais. Gerações curtas de melhoramento facilitam isso.

Os principais fatores que ditam o sucesso de um programa de melhoramento são:

- Estratégia adequada de melhoramento (método de seleção recorrente e delineamento de cruzamento).
- Eficiência no processo seletivo (método de seleção).
- Curtas gerações de melhoramento, ou seja, seleção precoce maximizando o ganho por unidade de tempo.

Visando alta eficiência seletiva, grande rapidez na obtenção de ganhos genéticos com a seleção e baixo custo, em comparação com a tradicional seleção baseada em dados fenotípicos, Meuwissen et al. (2001) propuseram um novo método de seleção denominado seleção genômica (GS) ou seleção genômica ampla (GWS), a qual pode ser aplicada em todas as famílias sob avaliação nos programas de melhoramento genético, apresenta alta acurácia seletiva para a seleção baseada exclusivamente em marcadores (após terem seus efeitos genéticos estimados a partir de dados fenotípicos em uma amostra da população de seleção) e não exige prévio conhecimento das posições (mapa) dos QTLs, não estando sujeita aos erros do tipo II associados à seleção de marcadores ligados a QTLs (Resende et al., 2012; Resende, 2015). A GWS será abordada, detalhadamente, em um capítulo à parte.

Heterogeneidade genética e número de clones em plantios comerciais

Um coeficiente de heterogeneidade genética (het_p) em um plantio comercial de clones pode ser dado pelo complemento do coeficiente de endogamia (F) (que mede homogeneidade), ou seja, $het_p = 1 - F$. O coeficiente é dado por uma função do número efetivo (N_e) de clones e da proporção de utilização de cada genótipo no plantio

comercial. Assim, tem-se $F = 1/(2N_e)$, sendo $N_e = (\sum n_i)^2/n_i^2$, em que n é o número de hectares plantados com cada clone. Expresso em termos de proporções p_i de plantio de cada clone, o N_e é dado por $N_e = 1/\sum p_i^2$, em que $p_i = n_i/\sum n_i$. Essa correção proporcional pode ser denominada "inverso da variância harmônica", um conceito análogo ao da média harmônica. Finalmente, o coeficiente de heterogeneidade é dado por $het_p = 1 - \sum p_i^2/2$. Quando se dispõe da heterozigose (h) molecular do clone, a expressão adequada é $het_{ph} = 1 - \sum p_i^2/2h$ (Resende, 2015). Como exemplo, considere nove clones plantados nas seguintes proporções: cinco deles na proporção 0,1667 e quatro deles na proporção 0,0555. Assim, tem-se:

$$\sum p_i^2 = 5 \cdot 0{,}1667^2 + 4 \cdot 0{,}0555^2 = 0{,}1512$$

$$het_p = 1 - (0{,}1512/2) = 0{,}9244$$

$$het_{ph} = 1 - (0{,}1512/(2 \cdot 0{,}8)) = 0{,}9055, \text{ sendo } h = 0{,}8.$$

Dessa forma, a heterogeneidade no plantio total será de 90,55%, a qual é adequada.

O futuro da avaliação genética e genômica

Predição e estimação via HIML/HG-BLUP

Trata-se de uma abordagem estatística recentemente desenvolvida para estimação, predição, inferência e seleção de modelos adequados. Essa metodologia permite predições pelo método BLUP hierárquico generalizado (HG-BLUP) para os efeitos aleatórios e estimações pelo método BLUE hierárquico generalizado (HG-BLUE) para os efeitos fixos. Os componentes de variância são estimados via máxima verossimilhança hierárquica (HIML), pelo algoritmo de quadrados mínimos ponderados iterativos (IWLS).

Até recentemente, existiam três classes de inferência: frequentista, verossimilhança (Fisheriana) e Bayesiana. Segundo Lee e Nelder (1996, 2004, 2009a, 2009b), a verossimilhança hierárquica surgiu recentemente e possibilita a unificação dessas três classes. A abordagem da verossimilhança hierárquica difere de ambas, da inferência frequentista e da Bayesiana. No entanto, ao mesmo tempo, une as duas. A verossimilhança tem sido um conceito central em estatística e é usada em ambos os contextos, frequentista e Bayesiano. Verossimilhancistas e frequentistas não podem fazer inferência para incógnitas aleatórias, e Bayesianos não fazem inferências para incógnitas fixas. A verossimilhança hierárquica propicia inferências para ambas incógnitas,

fixas e aleatórias, unindo as três frentes. Isto está representado na Figura 1, adaptada dos textos de Lee et al. (2017) e Resende et al. (2018).

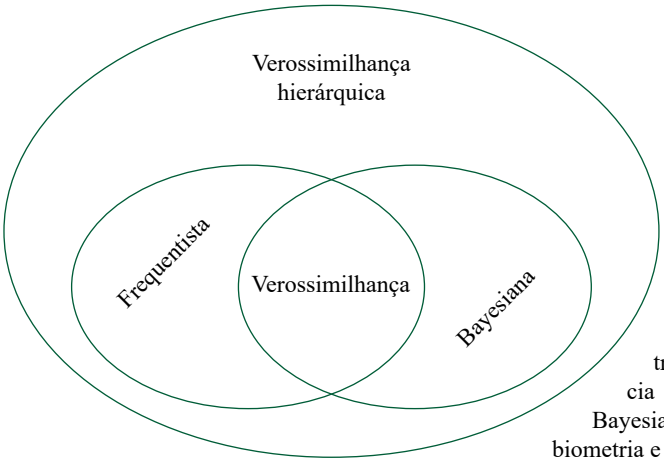


Figura 1. Unificação das três classes de inferência (Frequentista, Fisheriana e Bayesiana) na análise estatística em biometria e genética.

Nos modelos generalizados lineares mistos (GLMM), assume-se que os resíduos podem não apresentar distribuição Normal, mas os demais efeitos aleatórios do modelo devem seguir distribuição Normal. Entretanto, essa suposição nem sempre é adequada. Dessa forma, modelos em que uma distribuição de probabilidade e uma função de ligação distintas podem ser especificadas para cada fator aleatório do modelo pertencem à classe dos modelos hierárquicos generalizados lineares mistos (HGLMM). Para dados e HGLMM não Normais, o BLUP linear pode não ser tão eficiente (Resende et al., 2018). Sob HGLMM Normais o HG-BLUP produz o próprio BLUP tradicional.

Os HGLMM podem ser ajustados usando suas verossimilhanças hierárquicas. Assim, a inferência é realizada via verossimilhança hierárquica, que se refere a uma verossimilhança estendida em que os parâmetros aleatórios do vetor v estão na escala canônica. Os estimadores de efeitos fixos e aleatórios são derivados da maximização da verossimilhança hierárquica e produzem extensões diretas das equações de modelos mistos (MME) de Henderson. Os componentes de variância são estimados pela maximização do perfil da verossimilhança hierárquica ajustada, produzindo o método HIML, que é uma extensão direta do método máxima verossimilhança restrita (REML). Dessa forma, Lee e Nelder (1996, 2004, 2009a, 2009b) estenderam a teoria familiar do BLUP para uma classe mais ampla de modelos.

Explorando a natureza hierárquica da verossimilhança hierárquica, modelos para os componentes de variância dos parâmetros de dispersão podem ser adicionados um a um. Uma classe ampla de distribuições pode, então, ser usada para

modelar tanto a variável resposta *y* quanto os efeitos aleatórios, fato que aumenta a flexibilidade da modelagem. A verossimilhança hierárquica pode ser usada também na derivação de ferramentas para a seleção de modelos. O Critério de Informação de Akaike (AIC) condicional da verossimilhança hierárquica é, na verdade, equivalente ao Critério de Informação da Deviance (DIC) aplicado na Estatística Bayesiana (Lee; Noh, 2012).

A abordagem da verossimilhança hierárquica não requer distribuição a priori dos parâmetros ou uma intratável integração. A principal vantagem dessa verossimilhança é que, em geral, ela conduz a uma apropriada estimativa dos parâmetros aleatórios, pois pode levar em conta, na predição de *y*, a incerteza das estimativas. Existe também uma conexão muito próxima dessa abordagem com a modelagem Bayesiana, embora tal conexão seja somente matemática e não filosófica. O método é filosoficamente não Bayesiano, uma vez que, para ser aplicável, a variável aleatória *Y* precisa ter uma distribuição observada. A estimação não Bayesiana de modelos aleatórios, com resultados semelhantes aos obtidos via métodos Bayesianos, pode ser realizada via verossimilhança hierárquica sob HGLMM, algumas vezes com vantagens computacionais (menor tempo de processamento; critério trivial de convergência) (Resende et al., 2018).

A abordagem HGLMM engloba as metodologias de modelos lineares mistos (LMM) e de GLMM, as quais são casos especiais daquela. As metodologias evoluíram na seguinte ordem: modelos de efeitos fixos, LMM, GLMM, modelos Bayesianos aleatórios (BRM) e HGLMM. O nível de sofisticação foi aumentando com a melhoria da especificação e atribuições distribucionais à variável resposta, funções de ligação, efeitos aleatórios, componentes de variância e parâmetros de dispersão. Atualmente, todas essas abordagens são úteis. Mas, BRM e HGLMM são abordagens mais completas.

Lee e Nelder (2006) introduziram a classe dos HGLMM duplos (DHGLMM) nos quais efeitos aleatórios podem ser especificados em ambos, componentes de média e de dispersão. Dessa forma, atualmente é possível ter uma inferência robusta contra outliers pela admissão de distribuições de caudas pesadas. Também, as pressuposições sobre curtose e assimetria podem ser alteradas pelo uso dos efeitos aleatórios no componente de dispersão. O algoritmo de ajuste não requer distribuição a priori para os parâmetros nem quadratura para integração. Os HGLMM admitem o uso de distribuições para todos os efeitos aleatórios e isso enriquece grandemente essa classe de modelos.

A opção do ajuste dos vários fatores de efeitos aleatórios sob diferentes suposições de distribuição é de grande interesse e pode ser feito via HGLMM, ou seja, a definição dessas distribuições não precisa ficar confinada apenas na distribuição Normal. Essa flexibilidade era disponível apenas para os GLMM, ou seja, apenas para o fator aleatório de erros. Este aspecto pode conduzir a maior eficiência preditiva e de

seleção, especialmente no melhoramento de plantas, em que os modelos são constituídos de muitos fatores de efeitos aleatórios.

Os HGLMM permitem também a modelagem dos componentes de variância dos efeitos aleatórios e dos parâmetros de dispersão, tanto para os componentes de média quanto para os de variância. Assim, por exemplo, o modelo para variância residual inclui ambos os efeitos, fixos e aleatórios, em uma escala logarítmica. As distribuições para os componentes de variância não se restringem à Qui-Quadrado Inversa (como geralmente adotado na abordagem Bayesiana de distribuições conjugadas), mas advém da distribuição Gama com suas várias distribuições derivadas. Isso conduz também a maior flexibilidade na modelagem.

A metodologia HGLMM permite especificar *y* com distribuições de probabilidade além das tradicionais Normal, Binomial, Poisson e Binomial Negativa. Isto pode ser relevante para diversas aplicações práticas. Por exemplo, características de crescimento (diâmetro e altura) em espécies arbóreas são melhor descritas pela distribuição Weibull do que pela Normal. Nesse caso, a atribuição de uma distribuição Gama para *y* pode ser até mais eficiente, pois a Weibull é um caso particular da Gama Generalizada (Percontini et al., 2014).

Para a predição e a estimação via HIML/HG-BLUP os seguintes passos são necessários:

- Definição do modelo estatístico.
- Construção da função de verossimilhança hierárquica.
- Derivação das equações de modelos mistos hierárquicos.
- Derivação dos estimadores de componente de variância via verossimilhança perfilada ajustada.
- Desenvolvimento de um algoritmo iterativo eficiente.
- Implementação computacional eficiente.

No âmbito do melhoramento genético, as aplicações podem ser realizadas tanto no contexto fenotípico quanto genômico.

Genética quântica

As palavras Quântica e Quantitativa estão associadas à quantidade e quantificação. A Mecânica Estatística é uma área da Física Estatística ou Física Quântica que apresenta importantes contribuições para a Estatística e Biometria. Como exemplo, podem ser citados os conceitos de Entropia, Negentropia, Espaço de Hilbert, Informação de Kullback-Leibler, Teorema H de Boltzmann e Distribuição de Gibbs para o algoritmo MCMC (Amostragem para Simulação Estocástica) (Resende, 2015).

Em física, a entropia é uma grandeza termodinâmica que mede o grau de irreversibilidade de um sistema, geralmente associada à denominação de desordem de um sistema termodinâmico. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, trabalho pode ser convertido completamente em calor ou energia, mas energia térmica não pode ser completamente convertida em trabalho. Com a entropia procura-se mensurar a parcela de energia que não pode mais ser transformada em trabalho em transformações termodinâmicas à dada temperatura. A parcela de energia interna de um sistema em seu equilíbrio termodinâmico, que não pode mais ser convertida em trabalho à temperatura de equilíbrio, pode ser determinada pelo produto da entropia S pela temperatura absoluta T do sistema no respectivo estado.

Em mecânica estatística clássica, o Teorema-H, introduzido por Boltzmann (1872), descreve a tendência de aumento na quantidade H, a qual representa a entropia da termodinâmica. O Teorema-H está associado à segunda lei da termodinâmica, fundamentada nos processos irreversíveis. A medida de informação entrópica S_H propicia uma solução exata sob equilíbrio estatístico. A distribuição que maximiza a entropia, sujeita a restrições, é a distribuição de Boltzmann.

A entropia refere-se à medida de incerteza ou imprevisibilidade de uma variável aleatória ou de um sistema físico. É um conceito usado na Teoria de Informação e quantifica o valor esperado de informação, sendo, portanto, equivalente ao conteúdo de informação. Para uma variável com distribuição Normal a entropia é dada por ½ ln $(2\pi e\sigma^2)$. O termo negentropia refere-se à ordem ou entropia negativa. O princípio da máxima entropia tem sido usado para derivar as expressões matemáticas da Genética de Populações dos caracteres quantitativos sob equilíbrio, mutação, seleção, migração (fluxo gênico) e deriva genética (Resende, 2015).

Um modelo matemático geral para o equilíbrio genético em populações, baseado no princípio da máxima entropia, foi apresentado por Wang et al. (2002). Provou-se que a distribuição de probabilidade da máxima entropia foi equivalente a Lei do Equilíbrio de Hardy-Weinberg. Mostrou-se também que a população atinge o equilíbrio genético quando a entropia dos genótipos na população atinge o máximo valor possível. Isto indica que cruzamentos aleatórios na população é um processo irreversível, o qual aumenta a entropia genotípica da população, ao passo que a endogamia e a seleção diminui. No melhoramento genético a seleção e/ou endogamia são usadas para diminuir a entropia da população e o cruzamento para aumenta-la. Assim, o melhoramento atua por meio da regulação da entropia da população.

Em 2012, pela primeira vez, demonstrações teóricas detalhadas foram realizadas por Smith (2012) usando a Teoria da Informação via entropias da distribuição de frequências alélicas para caracterizar mutação, seleção, deriva genética e fluxo gênico. Também o desequilíbrio de ligação (r^2) foi abordado e estabelecidas as relações entre r^2 e I, sendo I informação mútua.

A compreensão da evolução das frequências alélicas de uma população pode ser interpretada como um processo biológico cujos mecanismos são exatamente correspondentes às medidas teóricas de informação e as técnicas da teoria de informação podem agregar e simplificar a análise teórica de alguns processos evolutivos (e de melhoramento via seleção) experimentados pelas populações. As conexões entre Genética de Populações e Teoria de Informação são feitas por meio do uso de várias quantidades baseadas em informação, as quais são definidas por Resende (2015).

Refinamento da seleção genômica pelo uso de QTNs em lugar de SNPs

A mutação causal de uma variação genética em nível de nucleotídeo (os QTNs) poderá ser acessada em um futuro próximo. Assim, a seleção genômica poderá ser aperfeiçoada pelo uso direto dos QTNs em lugar dos SNPs. O uso dos QTNs trará as seguintes vantagens (Resende, 2015):

- A seleção genômica ampla (GWS) não dependerá do desequilíbrio de ligação, pois o QTN será acessado diretamente e não via marcadores, isto aumentará a durabilidade da predição genômica, a qual será útil também no longo prazo.
- A predição genômica poderá ter validade (transferibilidade) por meio de diferentes populações e espécies em um mesmo gênero.
- A predição genômica usará QTNs específicos para cada caráter, ao contrário do G-BLUP via SNPs, o qual usa a mesma matriz de parentesco G para todas as características.
- Os índices de seleção multicaracterísticos ponderarão diretamente os QTNs e não as características fenotípicas.
- A seleção genômica poderá usar um menor número de gerações (apenas as últimas) para a composição da matriz G, isto trará maior ganho genético e menor quantidade de dados a serem processados.
- As frequências alélicas dos QTNs serão acessadas diretamente e não via desequilíbrio de ligação com SNPs.

Referências

ALVES, R. S. **BLUP via modelos de normas de reação na avaliação da interação genótipos x ambientes em plantas**. Viçosa: UFV, 2016.

ALVES, R. S.; ROCHA, J. R. A. S. C.; TEODORO, P. E.; RESENDE, M. D. V.; HENRIQUES, E. P.; SILVA, L. A.; CARNEIRO, P. C. S.; BHERING, L. L. Multiple-trait BLUP: a suitable strategy for genetic selection of *Eucalyptus*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 14, p. 77, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-018-1292-7.

BAUDOUIN, L.; BARIL, C.; CLEMENT-DEMANGE, A.; LEROY, T.; PAULIN, D. Recurrent selection of tropical tree crops. **Euphytica**, v. 96, n. 1, p. 101-114, 1997. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1002908918879.

BOLDMAN, K. G.; KRIESE, L. A.; VAN VLECK, L. D.; KACHMAN, S. D. **A manual for use of MTDFREML**: a set of programs to obtain estimates of variances and covariances. Washington: USDA, ARS, 1993.

BOLTZMANN, L. Further studies on the thermal equilibrium of gas molecules. **Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, Wien II**, v. 66, p. 275-370, 1872.

BORRALHO, N. M. G.; JARVIS, S. F.; POTTS, B. M. Multivariate restricted maximum likelihood estimation of genetic parameters for diameter at 3 to 5 years in the *Eucalyptus globulus* base population in Australia. In: POTTS, B. M.; BORRALHO, N. M. G.; REID, J. B.; CROMER, R. N.; TIBBITS, W. N.; RAYMOND, C. A. **Eucalypt plantations**: improving fiber yield and quality: proceedings CRCTHF-IUFRO conference, Hobart, Tasmania. Australia: CRC for Temperate Hardwood Forestry, 1995.

BUENO FILHO, J. S. S. **Modelos mistos na predição de valores genéticos aditivos em testes de progênies florestais.** Piracicaba: ESALQ, 1997.

BUENO FILHO, J. S. S. **Seleção combinada versus seleção sequencial no melhoramento de populações florestais.** Piracicaba: ESALQ, 1992.

COMSTOCK, R.; ROBINSON, H. F.; HARVEY, P. H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. **Agronomy Journal**, v. 41, p. 360-367, 1949.

CORNELLIUS, J. Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 24, p. 371-379, 1994. DOI: https://doi.org/10.1139/x94-050.

DUARTE, J. B. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal**. Piracicaba: ESALQ, 2000.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON J.; HARDWOOD, H.; WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1993.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: Ed. UFV, 2010.

GILMOUR, A. R.; CULLIS, B. R.; WELHAM, S. J.; THOMPSON, R. **ASREML program user manual.** Australia: Orange Agricultural Institute, NSW Agriculture, 1998.

GILMOUR, A. R.; THOMPSON, R.; CULLIS, B. R. Average information reml: an efficient algorithm for variance parameter estimation in linear mixed models. **Biometrics**, v. 51, p. 1440-1450, 1995.

GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V. Genomic selection in forest tree breeding. **Tree Genetics & Genomes**, v. 7, p. 241-255, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-010-0328-4.

HENDERSON, C. R. A simple method for computing the inverse of a numerator relationship matrix used in prediction of breeding values. **Biometrics**, v. 32, p. 69-83, 1976. DOI: https://doi.org/10.2307/2529339.

HENDERSON, C. R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, v. 31, n. 2, p. 423-447, 1975a. DOI: https://doi.org/10.2307/2529430.

HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetic trends. In: Animal breeding and genetics symposium in honor of J. Lush**.** Champaign: American Society of Animal Science, 1973.

HENDERSON, C. R. Use of all relatives in intraherd prediction of breeding values and producing abilities. **Journal of Dairy Science**, v. 58, p. 1910-1916, 1975b. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84808-9.

JOHNSON, D. L.; THOMPSON, R. Restricted maximum likelihood estimation of variance components for univariate animal models using sparse matrix techniques and average information. **Journal of Dairy Science**, v. 78, p. 449-456, 1995. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76654-1.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **IPEF**, v. 24, p. 9-26, 1983.

LEE, Y.; NELDER, J. A.; PAWITAN, Y. **Generalized linear models with random effects**. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC Press, 2017.

LEE, Y.; NELDER, J. A. Likelihood inference for models with unobservables: another view. **Statistical Science**, v. 24, p. 255-269, 2009a. DOI: https://doi.org/10.1214/09-STS277.

LEE, Y.; NELDER, J. A. Rejoinder: Likelihood inference for models with unobservables: another view. **Statistical Science**, v. 24, p. 294-302, 2009b. DOI: https://doi.org/10.1214/09-STS277REJ.

LEE, Y.; NOH, M. Modelling random effect variance with double hierarchical generalized linear models. **Statistical Modelling**, v. 12, p. 487-502, 2012. DOI: https://doi.org/10.1177/1471082X12460132

MEUWISSEN, T. H. E.; HAYES, B. J.; GODDARD, M. E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. **Genetics**, v. 157, p. 1819-1829, 2001.

MEYER, K. DFREML - a set of programs to estimate variance components under an individual animal model. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 2, p. 33-34, 1988. DOI: https://doi.org/10.1016/S0022-0302(88)79977-4.

MISZTAL, I.; PÉREZ-ENCISO, M. Sparse matrix inversion for restricted maximum likelihood estimation of variance components by expectation-maximization. **Journal of Dairy Science**, v. 76, p. 1479-1483, 1993. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77478-0.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v. 58, p. 545-554, 1971. DOI: https://doi.org/10.2307/2334389.

PERCONTINI, A.; SILVA, F. S. G.; RAMOS, M. W. A.; VENANCIO, R.; CORDEIRO, G. M. A distribuição Gama Weibull Poisson aplicada a dados de sobrevivência. **TEMA**, v. 15, p. 165-176, 2014. DOI: https://doi.org/10.5540/tema.2014.015.02.0165.

PEREIRA, M. B.; VENCOVSKY, R. Limites da seleção recorrente. I. Fatores que afetam o acréscimo das frequências alélicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, p. 769-780, 1988.

PIRES, I. E.; CRUZ, C. D.; BORGES, R. C. G.; REGAZZI, A. J. Índice de seleção combinada aplicado ao melhoramento genético de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v. 20, p. 191-197, 1996.

RAYMOND, C. A. Genetic control of wood and fiber traits in Eucalyptus. In: POTTS, B. M.; BORRALHO, N. M. G.; REID, J. B.; CROMER, R. N.; TIBBITS, W. N.; RAYMOND, C. A. **Eucalypt plantations**: improving fiber yield and quality. Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry, p. 49-52, 1995.

RESENDE, M. D. V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP no melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000a.

RESENDE, M. D. V. Avanços da genética biométrica florestal. In: BANDEL, G.; VELLO, N. A.; MIRANDA FILHO, J. B. **Encontro sobre temas de genética e melhoramento**: genética biométrica vegetal**.** Piracicaba: ESALQ, 1997.

RESENDE, M. D. V. Correções nas expressões do progresso genético com seleção em função da amostragem finita dentro de famílias e populações e implicações no melhoramento florestal. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 22/23, p. 61-77, 1991.

RESENDE, M. D. V. Delineamento de experimentos de seleção para a maximização da acurácia seletiva e progresso genético. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 479-500, 1995.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2015.

RESENDE, M. D. V. **Genômica quantitativa e seleção no melhoramento de plantas perenes e animais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

RESENDE, M. D. V. **Inferência bayesiana e simulação estocástica (amostragem de Gibbs) na estimação de componentes de variância e valores genéticos em plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000b.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a.

RESENDE, M. D. V. **Predição de valores genéticos, componentes de variância, delineamentos de cruzamento e estrutura de populações no melhoramento florestal**. Curitiba: UFPR, 1999.

RESENDE, M. D. V. **Selegen-REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v 16, p. 330-339, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49.

RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F. Seleção recorrente recíproca entre populações sintéticas multi-espécies (SRR-PSME) de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 57, p. 57-60, 2008.

RESENDE, M. D. V.; AZEVEDO, C. F.; SILVA, F. F.; NASCIMENTO, M.; GOIS, I. B.; ALVES, R. S. **Modelos hierárquicos generalizados lineares mistos (HGLMM), máxima verossimilhança hierárquica (HIML) e HG-BLUP: unificação das três classes de inferência (frequentista, fisheriana e bayesiana) na análise estatística em biometria e genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2018.

RESENDE, M. D. V.; BARBOSA, M. H. P. **Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005.

RESENDE, M. D. V.; BIELE, J. Estimação e predição em modelos lineares generalizados mistos com variáveis binomiais. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 20, p. 30-65, 2002.

RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S. Aplicação da metodologia de modelos mistos (REML/BLUP) na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genéticos aditivos e genotípicos em espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 1, p. 44-52, 2000.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V.; DUDA, L. L.; GUIMARÃES, P. R. B.; FERNANDES, J. S. C. Análise de modelos lineares mistos via inferência Bayesiana. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 19, p. 41-70, 2001.

RESENDE, M. D. V.; FERNANDES, J. S. C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 17, p. 89-107, 1999.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Estratégia de melhoramento para eucalipto visando a seleção de híbridos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 20, n. 21, p. 1-20, 1990.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Maximização da eficiência da seleção em testes de progênies de *Eucalyptus* através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 28, n. 29, p. 37-55, 1994.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R.; LAVORANTI, O. J. Predição de valores genéticos no melhoramento de *Eucalyptus*: melhor predição linear. **Sociedade Brasileira de Silvicultura**, p. 144-147, 1993.

RESENDE, M. D. V.; LOPES, P. S.; SILVA, R. L.; PIRES, I. L. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, p. 63-77, 2008.

RESENDE, M. D. V.; PRATES, D. F.; JESUS, A.; YAMADA, C. K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em *Pinus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 32, n 33, p. 18-45, 1996.

RESENDE, M. D. V.; REZENDE, G. D. S. P.; FERNANDES, J. S. C. Regressão aleatória e funções de covariância na análise de medidas repetidas. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 19, p. 21-40, 2001.

RESENDE, M. D. V.; SILVA, F. F.; AZEVEDO, C. F. **Estatística matemática, biométrica e computacional**: modelos mistos, multivariados, categóricos e generalizados (REML/BLUP), inferência bayesiana, regressão aleatória, seleção genômica, QTL-GWAS, estatística espacial e temporal, competição, sobrevivência. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2014.

RESENDE, M. D. V.; SILVA, F. F.; LOPES, P. S.; AZEVEDO, C. F. **Seleção genômica ampla (GWS) via modelos mistos (REML/BLUP), inferência bayesiana (MCMC), regressão aleatória multivariada (RRM) e estatística espacial**. Viçosa: UFV, 2012.

RESENDE, M. D. V.; STRINGER, J. K.; CULLIS, B. C; THOMPSON, R. Joint modelling of competition and spatial variability in forest field trials. **Brazilian Journal of Mathematics and Statistics**, v. 23, n. 2, p 7-22, 2005.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A. Análise estatística espacial de experimentos via modelos mistos individuais com erros modelados por processos ARIMA em duas dimensões. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 21, p. 7-33, 2003.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A. **Análise genética de dados com dependência espacial e temporal no melhoramento de plantas perenes via modelos geoestatísticos e de séries temporais empregando REML/BLUP individual**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; MENDES, S. **Genética e melhoramento da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill)**. Colombo: Embrapa Florestas, 1995.

RESENDE, M. D. V.; THOMPSON, R. Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 22, p. 1-22, 2004.

RESENDE, M. D. V.; THOMPSON, R. **Multivariate spatial statistical analysis of multiple experiments and longitudinal data**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

RESENDE, M. D. V.; THOMPSON, R.; WELHAM, S. Multivariate spatial statistical analysis of longitudinal data in perennial crops. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 24, p. 147- 169, 2006.

RESENDE, M. D. V; OLIVEIRA, E. B. Sistema Selegen - Seleção genética computadorizada para o melhoramento de espécies perenes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 9, p. 931-939, 1997.

REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.

ROBINSON, D. L.; THOMPSON, R.; DIGBY, P. G. N. **REML**: a program for the analysis ofnon-orthogonal data by restricted maximum likelihood. Wien: COMPSTAT, Physica Verlag, p. 231-232, 1982.

SMITH, R. D. **Information theory and population genetics**. Ithaca: Cornell University, arXiv:1103.5625, 2012.

THOMPSON, R. Maximum likelihood estimation of variance components. **Mathematische Operationsforschung und Statistik, Series Statistics**, v. 11, p. 545-561, 1980.

THOMPSON, R. Relationship between the cumulative difference and best linear unbiased predictor methods of evaluating bulls. **Animal Production**, v. 23, p. 15-24, 1976.

THOMPSON, R. Sire evaluation. **Biometrics**, v. 35, p. 339-353, 1979.

THOMPSON, R. The estimation of heritability with unbalanced data. **Biometrics**, v. 33, p. 485-504, 1977.

THOMPSON, R. The estimation of variance and covariance components when records are subject to culling. **Biometrics**, v. 29, p. 527-550, 1973.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

VERNEQUE, R. S.; VALENTE, J. Avaliação genética de vacas e touros. In: VALENTE, J.; DURÃES, M. C.; MARTINEZ, M. L.; TEIXEIRA, N. M. **Melhoramento genético de bovinos de leite**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Corte, p. 127-154. 2001.

VIGNERON, P. Création et amélioration de variétés hybrides d'eucalyptus au Congo. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 234, n.4, p. 29-42, 1992.

WANG, X. L.; YUAN, Z. F.; GUO, M. C.; SONG, S. D.; ZANG, Q. Q.; BAO, Z. M. Maximum entropy principle and population genetics equilibrium. **Acta Genetica Sinica**, v. 29, p. 562-564, 2002.

WHITE, T. L.; HODGE, G. R. **Predicting breeding values**: with applications in forest tree improvement. London: Kluwer Academic Publishers, 1989.

4

Genômica aplicada à genética e melhoramento de *Eucalyptus* na Embrapa: 25 anos de avanços e as perspectivas para o futuro

Dario Grattapaglia

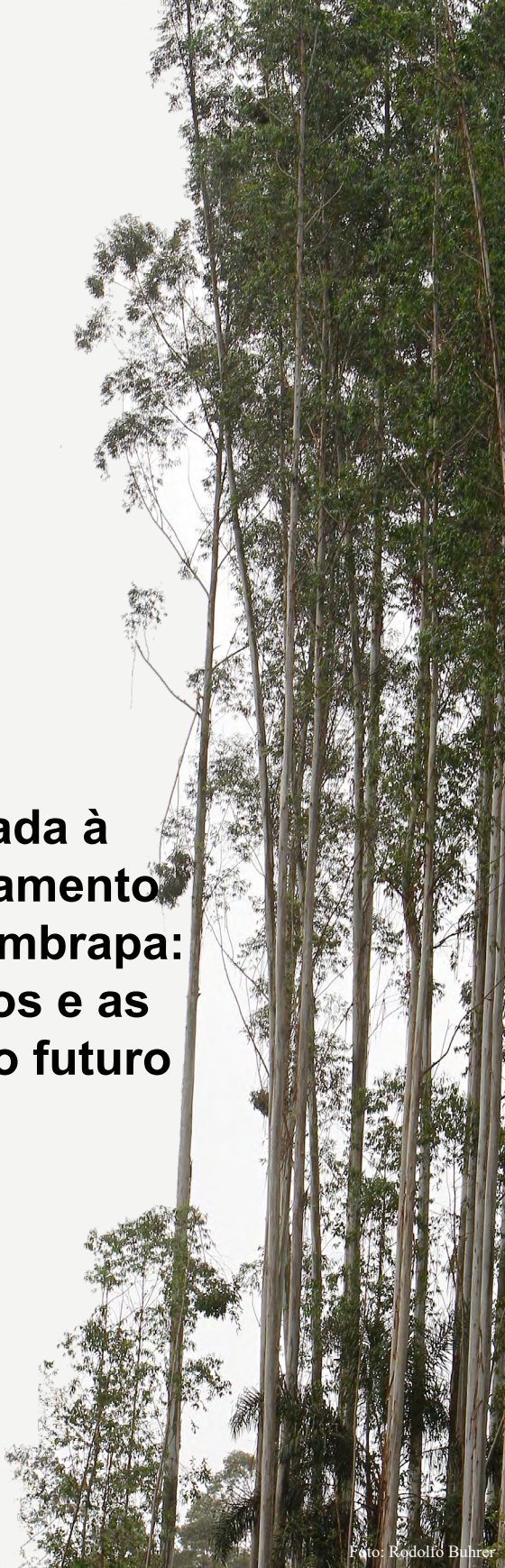


Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Eucalyptus L'Hér. (Myrtaceae) representa atualmente o gênero de espécies florestais folhosas (*hardwoods*) mais amplamente plantado no mundo. As assim chamadas *big nine*, ou seja, as nove principais espécies plantadas e seus híbridos, todas elas pertencentes ao subgênero *Symphyomyrtus* (*E. grandis, E. urophylla, E. globulus, E. camaldulensis, E. nitens, E. pellita, E. saligna, E. tereticornis, E. dunnii*) constituem mais de 95% das florestas plantadas de eucalipto do mundo (Harwood, 2011). Crescimento rápido e adaptabilidade a uma ampla diversidade de regiões tropicais e subtropicais, combinados com propriedades versáteis de madeira para energia, produtos sólidos de madeira, celulose e papel têm contribuído para a posição de destaque do eucalipto na atual silvicultura mundial. *Eucalyptus grandis* (Maiden) Hill, *E. urophylla* S.T. Blake, *E. camaldulensis* Dehn. e seus híbridos são as principais espécies plantadas em regiões tropicais, enquanto *E. globulus* Labill e *E. nitens* H.Deane & Maiden são as espécies mais importantes em regiões temperadas (Grattapaglia et al., 2012). A enorme diversidade genética encontrada nas procedências dentro das espécies e as oportunidades de explorar a complementaridade e heterose em híbridos, a partir de pools gênicos contrastantes que evoluíram separadamente no centro de origem do gênero, tem sido uma grande vantagem para o desenvolvimento de estoques genéticos de alta qualidade por seleção direcional no melhoramento genético (Grattapaglia; Kirst, 2008).

É consenso hoje que o melhoramento genético tornou-se um elemento competitivo chave das operações industriais de base florestal intensiva com espécies de eucalipto em todo o mundo, fornecendo clones e sementes geneticamente superiores, que aumentam consideravelmente o valor econômico das florestas plantadas. Independentemente da espécie alvo e objetivos industriais, os programas de melhoramento genético enfrentam, entretanto, um desafio comum: a longa duração de um ciclo de melhoramento, que pode levar vários anos ou mesmo décadas. Espécies de eucalipto têm ciclos de vida relativamente longos e as árvores tornam-se reprodutivamente ativas somente após alguns anos. O progresso e o sucesso dos programas de melhoramento são, portanto, fortemente dependentes do tempo necessário para completar um ciclo de melhoramento. Isso pode durar vários anos a décadas, dependendo da região geográfica, da biologia da espécie, da idade na qual os fenótipos podem ser medidos com precisão e da forma de implantação de material melhorado, seja sementes ou clones. Além disso, as incertezas associadas à execução de um programa de melhoramento ao longo de décadas podem ser altas. O intervalo de tempo prolongado entre o investimento em melhoramento e a efetiva utilização do material genético selecionado na floresta e, em seguida, na fábrica, torna a prática do melhoramento um empreendimento suscetível a mudanças nas demandas de mercado, nos objetivos de negócios e nas políticas de gestão, além de alterações climáticas e de acesso a áreas para a expansão do plantio florestal. O desafio posto pelos longos ciclos de um programa de melhoramento

resultou, ao longo dos anos, em esforços substanciais para entender as correlações juvenil-adulto, para características de expressão tardia (Borralho et al., 1992; Eldridge et al., 1993), desenvolver maneiras de acelerar a recombinação por indução artificial de floração (Griffin et al., 1993; Hasan; Reid, 1995) e praticar a seleção precoce de características juvenis (Blake; Bevilacqua, 1990; Bouvet et al., 2004).

Com a expansão da biologia molecular de plantas a partir do final dos anos 80 e das tecnologias genômicas a partir de meados dos anos 90, novas perspectivas se abriram para atacar os desafios existentes em duas grandes áreas das ciências florestais: (i) acelerar e aumentar a efetividade do melhoramento genético florestal, visando o aumento da produtividade, qualidade e proteção das florestas plantadas e (ii) o manejo de populações naturais de espécies florestais, pelo estudo detalhado da distribuição e evolução da diversidade neutra e adaptativa em um contexto ecológico e evolutivo. A biologia molecular aplicada às espécies florestais tem lançado mão de um amplo arsenal de tecnologias moleculares, que podem ser agrupadas em dois grupos principais: (i) o estudo, caracterização e manipulação de genes individuais por técnicas de biologia molecular, o que representaria a biotecnologia florestal no sentido mais restrito do termo, e (ii) a descrição, caracterização e análise da estrutura, variação e expressão de sequências de DNA e RNA com técnicas de alto desempenho o que constituiria, de forma geral, a genômica.

Enquanto a biotecnologia florestal tem predominantemente o objetivo de realizar intervenção direta no genoma, via técnicas de transgenia e edição gênica, o foco da genômica florestal tem sido, por um lado, a estimativa dos níveis e distribuição de variabilidade genética global do genoma em indivíduos e populações utilizando marcadores moleculares e, por outro, o entendimento dos mecanismos genéticos, bioquímicos, moleculares e celulares envolvidos principalmente no crescimento, formação da madeira e resposta de resistência ou tolerância da árvore a estresses bióticos e abióticos. Nesta segunda vertente, as tecnologias genômicas buscam, em suas aplicações mais avançadas, a detecção e compreensão das relações complexas entre variabilidade genética, em nível de sequência de DNA, e a variabilidade fenotípica observada para características complexas de interesse florestal. A genômica contrasta com a abordagem de biologia molecular tradicional baseada no estudo de um ou poucos genes de cada vez, ao analisar, em paralelo, milhares de sequências, genes ou mesmo genomas inteiros de um ou mais indivíduos ou espécies. Para um maior aprofundamento no tema geral da genômica florestal, foco técnico principal deste capítulo, aqui voltado para a genômica do eucalipto, vale destacar algumas revisões que abordam o tópico de uma forma ampla contemplando todas as principais espécies florestais plantadas (Grattapaglia et al., 2009; Neale; Kremer, 2011; Harfouche et al., 2012; Plomion et al., 2016; Tuskan et al., 2018) e mais especificamente as espécies de *Eucalyptus* (Poke et al., 2005; Grattapaglia et al., 2012).

Considerando que espécies florestais como o eucalipto não se qualificam como um sistema modelo para o estudo da biologia molecular de plantas, o grande impulso na evolução da genômica do eucalipto nos últimos 25 anos foi motivado predominantemente pelo potencial de utilização de marcadores moleculares, na otimização de programas de melhoramento genético, e pela investigação da relação complexa entre variação no genoma e variação nos fenótipos relacionados com a qualidade da madeira, crescimento e resistência a doenças. Foi na perspectiva de facilitar a prática do melhoramento que as tecnologias de análise genômica com marcadores moleculares despertaram a atenção dos geneticistas de eucalipto no início da década de 1990. Além dos marcadores moleculares permitirem a quantificação e o gerenciamento da variabilidade genética de bancos de germoplasma e populações de melhoramento, identificar indivíduos, determinar parentesco e reconstruir pedigrees, a possibilidade de praticar seleção assistida por marcadores em idade precoce das árvores foi proposta como um meio de acelerar os ciclos de melhoramento, aumentar a intensidade de seleção, reduzir o esforço de testes de campo e melhorar a precisão de seleção, principalmente para características de baixa herdabilidade e expressão tardia (Grattapaglia et al., 1992; Williams; Neale, 1992). No entanto, o potencial da seleção assistida por marcadores para espécies florestais foi logo questionado com base no estado de equilíbrio de ligação de populações de melhoramento, considerando o tamanho efetivo elevado e histórico recente de domesticação, além da variabilidade da expressão dos locos controladores de características quantitativas (*QTLs – quantitative trait loci*) entre populações e ambientes distintos (Strauss et al., 1992), críticas estas que ao longo dos anos se provaram procedentes porém contornáveis ao se utilizar a abordagem de seleção genômica (Grattapaglia; Resende, 2011).

O papel da pesquisa pública e privada brasileira na geração de conhecimento e desenvolvimento de produtos e processos nas áreas de silvicultura, manejo, conservação, melhoramento, proteção e tecnologia da madeira do eucalipto é amplamente reconhecido internacionalmente. A Embrapa, em colaboração com diversas universidades e empresas privadas do País e exterior, no desenvolvimento da genômica florestal de espécies de *Eucalyptus* a partir de 1994 e vem mantendo uma posição de destaque até hoje, seja na geração de recursos e conhecimento fundamentais para a pesquisa genômica de *Eucalyptus*, bem como na implementação inovadora de tecnologias genômicas na prática operacional do melhoramento genético do eucalipto. Neste histórico de contribuições, deve ser destacado o papel que teve o Projeto Genolyptus, Rede Brasileira de Pesquisa do Genoma do Eucalipto, concebido, formatado e liderado pela Embrapa entre 2001 e 2008. Como descrito a seguir, o Genolyptus foi o principal "motor" que deu início à evolução da pesquisa e aplicação da genômica no melhoramento e produção do eucalipto no país.

Este capítulo apresenta um breve histórico das contribuições da Embrapa na área das ciências genômicas aplicadas ao eucalipto, realizadas ao longo dos últimos

25 anos (Figura 1). Após uma breve descrição do histórico e impactos do Projeto Genolyptus, a discussão é apresentada de forma organizada em três grandes temas. O primeiro envolve o desenvolvimento de recursos genômicos desde as plataformas de marcadores moleculares, passando pela geração de bancos de dados de sequências, até o trabalho de sequenciamento do genoma de referência de *Eucalyptus grandis*. O segundo apresenta aplicações de ferramentas de análise genômica que não incluem a tentativa de correlacionar variação na sequência do DNA com características fenotípicas, mas que tem por objetivo o estudo da variabilidade e estrutura genética de populações, a identificação individual e determinação e quantificação de parentesco. Essas aplicações, hoje rotina em programas de melhoramento e propagação clonal de eucalipto em diversas empresas no Brasil e no mundo, têm tido um impacto direto e quantificável na otimização dos vários processos que dependem da correta certificação de identidade e parentesco, reconstrução de pedigrees e gerenciamento de variabilidade genética em populações de melhoramento. O terceiro tema aborda aplicações tecnicamente mais desafiadoras que vêm buscando conectar a variação de sequência no DNA com a variação de características quantitativas complexas, por meio de mapeamento de QTLs, mapeamento de associação e, mais recentemente, predição e seleção genômica, com o intuito de auxiliar diretamente a seleção mais rápida e precisa de árvores superiores em programas de melhoramento. Em vista do foco da obra da qual este capítulo faz parte, o tratamento da biotecnologia e genômica florestal não pretende ser exaustivo. Para aqueles que desejam um maior aprofundamento em cada tema abordado, são indicadas referências úteis ao longo da discussão.

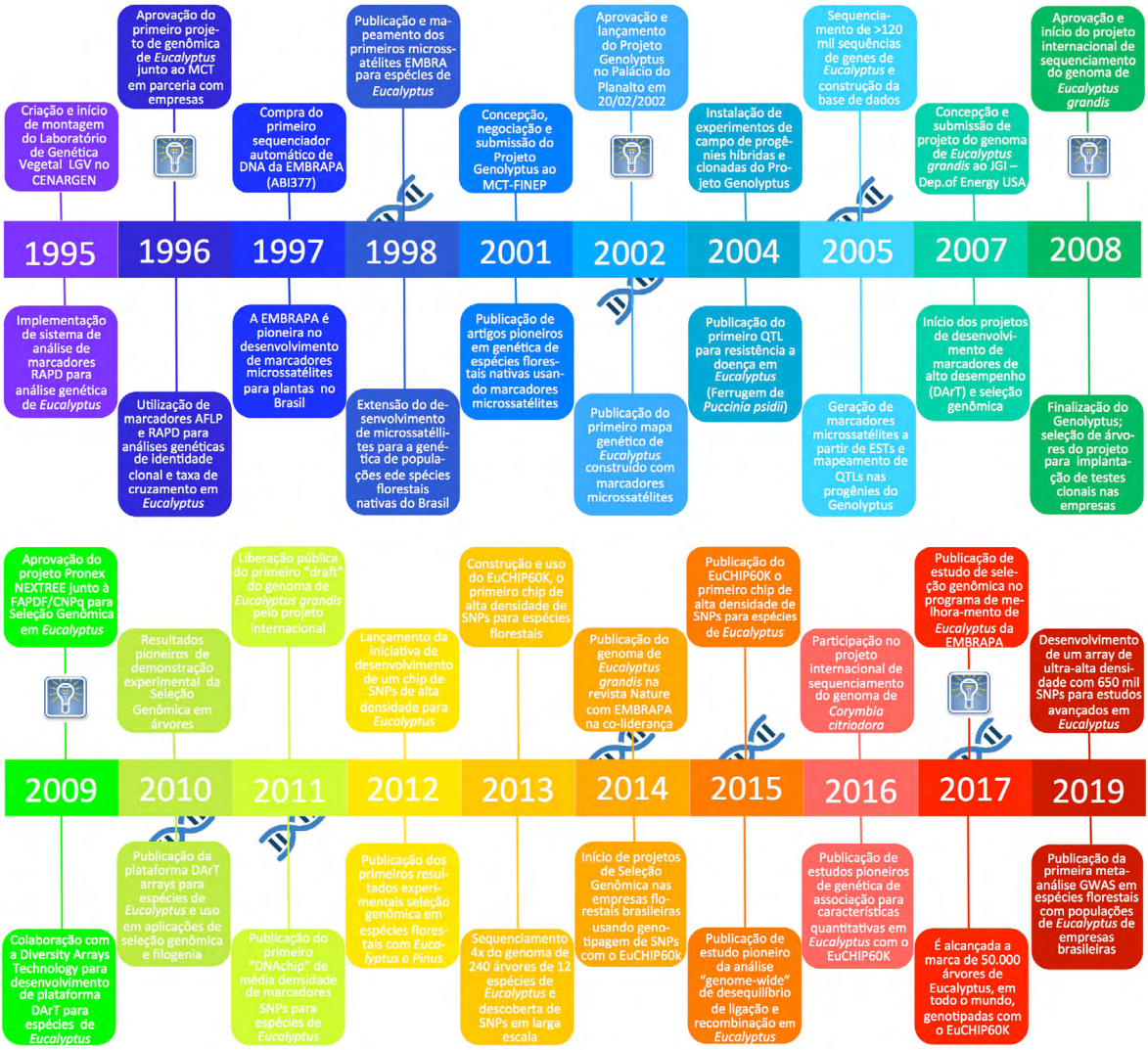


Figura 1. Linha do tempo das contribuições da Embrapa na área de genômica aplicada a espécies de *Eucalyptus* ao longo dos últimos 25 anos, através do trabalho do Laboratório de Genética Vegetal e todos os seus colaboradores nacionais e internacionais. O ícone representando uma fita de DNA indica contribuições mais significativas (*milestones*) de geração de recursos genômicos de impacto internacional. O ícone representando uma lâmpada indica os momentos nos quais projetos captados externamente viabilizaram em grande parte a realização dos trabalhos descritos. Detalhes sobre cada uma das contribuições são fornecidas ao longo do texto.

O Projeto Genolyptus: a Embrapa lidera uma ampla rede de pesquisa genômica público-privada na área florestal

Dois projetos de pesquisa de genômica do eucalipto foram iniciados paralelamente no Brasil entre 2001 e 2002: o Projeto Forests em São Paulo, e o Projeto Nacional Genolyptus - Rede Brasileira de Pesquisa do Genoma do Eucalipto (Figura 2). O Projeto Forests, financiado pela Fapesp e por quatro empresas paulistas de base florestal, teve como objetivo específico a geração de um banco de sequências de genes expressos de *Eucalyptus grandis* segundo a lógica dos projetos genoma que a Fapesp apoiava na época. Houve um avanço relevante com os trabalhos de anotação *in silico* dos dados de sequenciamento gerados, tema de um fascículo especial da revista brasileira *Genetics and Molecular Biology* (Carrer, 2005). Entretanto, do ponto de vista da efetiva internalização da genômica no setor florestal, o *Forests* teve uma contribuição limitada, seja pelo fato dos dados de sequenciamento terem permanecido inacessíveis à comunidade científica até hoje, por questões contratuais do projeto, bem como, e principalmente, por não associar a geração de dados genômicos a experimentos de campo que permitissem a busca de um impacto mais direto no melhoramento genético do eucalipto.

Indo além de um típico projeto de sequenciamento de porções do genoma, o Projeto Genolyptus, por outro lado, se fundamentou em uma estratégia de interconexão entre as diferentes tecnologias genômicas disponíveis na época com uma intensa experimentação de campo, otimização de métodos de avaliação de qualidade da madeira e a solução de desafios na área de patologia florestal (Grattapaglia, 2004; Grattapaglia et al., 2004a). Como primeiro passo do projeto, entre 2002 e 2003 foi realizado um importante trabalho de interação entre as empresas participantes na geração e instalação de uma ampla rede experimental de campo. Este trabalho, fundamental para o sucesso do projeto, demandou a mobilização de dezenas de pessoas e recursos materiais e logísticos nas várias empresas. A rede experimental instalada cobriu cinco regiões do País, desde o Rio Grande do Sul até o Pará, amostrando uma ampla variabilidade ambiental onde o eucalipto é plantado. Com o ingresso de uma empresa portuguesa no projeto, novas populações e material genético de *E. globulus* foram agregados ao esforço experimental, consolidando assim uma base experimental florestal inédita em nível mundial especificamente voltada para a investigação genômica do eucalipto. Estes experimentos de campo não serviram apenas como base fundamental para os estudos de mapeamento genético e expressão gênica, mas também forneceram produtos na forma de estoque genético elite para programas de produção e melhoramento florestal. Ao final do projeto, passados cerca de 6 a 7 anos de experimentação de campo, mais de 100 árvores foram selecionadas pelo seu

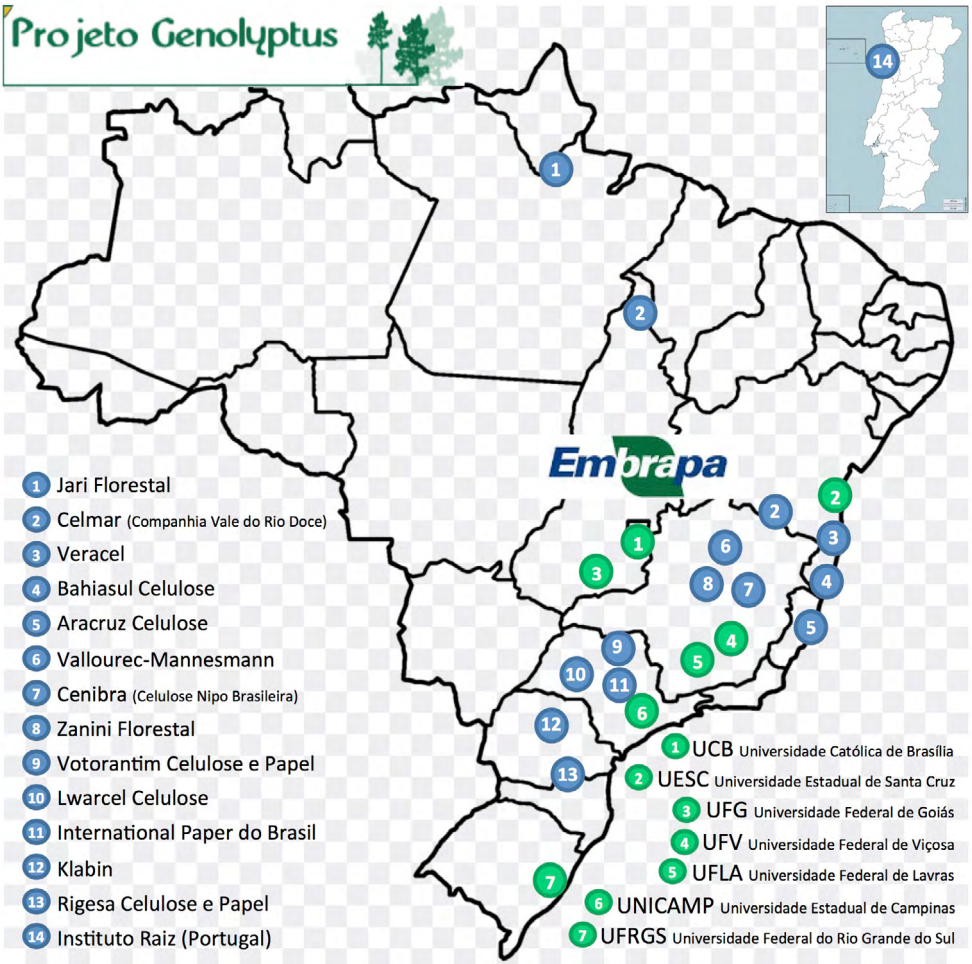


Figura 2. Configuração do projeto de parceria pública-privada da Rede Brasileira de Pesquisa do Genoma do Eucalipto – Projeto Genolyptus (2002-2008) liderada pela Embrapa, envolvendo 14 empresas de base florestal e sete universidades brasileiras localizadas no mapa. Várias das empresas de base florestal na época hoje ou não existem mais pois foram compradas por outras empresas, ou mudaram de nome no forte movimento de consolidação do setor que ocorreu nos últimos dez anos.

excelente crescimento, forma e propriedades da madeira nos diferentes ambientes. Estas árvores, várias delas de constituição híbrida de interesse de várias empresas, foram propagadas e distribuídas entre os participantes e instaladas em diversos testes clonais ou utilizadas como genitores em programas de hibridação interespecífica.

O Projeto Genolyptus se baseou em uma parceria entre o Governo Federal por meio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) agência do Ministério da Ciência e Tecnologia, o setor acadêmico representado por sete universidades, dois centros da Embrapa (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e Embrapa Florestas) e o setor privado com, na época, 14 empresas florestais, 13 brasileiras e uma portuguesa (Figura 2). O projeto consumiu cerca de R$ 8 milhões, correspondendo, na época, a 2 milhões de dólares americanos, isso sem contar os custos de salários dos pesquisadores envolvidos das várias instituições. A Finep participou com R$ 4,5 milhões do Fundo Setorial Verde Amarelo, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com cerca de R$ 500 mil em bolsas e as empresas com R$ 2,5 milhões em recursos financeiros diretos e outros R$ 500 mil em recursos materiais e logísticos.

A formação desta rede representou um posicionamento estratégico importante do País e das empresas brasileiras do setor na área de biotecnologia florestal em uma efetiva parceria público-privada. Dificilmente cada uma das empresas individualmente teria fôlego tecnológico para sustentar um esforço concentrado na área de ciências genômicas na época, que se caracterizava pela novidade constante, complexidade técnica, necessidade de equipes especializadas e uma imprevisibilidade do retorno efetivo no curto e médio prazo do investimento realizado. Concebido dentro de um inovador espírito pré-competitivo, ao longo dos seus oito anos de duração, o Projeto Genolyptus, envolveu mais de 40 pesquisadores das várias universidades, centros da Embrapa e empresas privadas, incluindo a importante participação de dezenas de estudantes de graduação e pós-graduação como veículo essencial de formação de massa crítica, disseminação e continuidade da área de desenvolvimento e uso da genômica aplicada ao eucalipto pelos anos subsequentes. De fato, diversos profissionais que atuaram como estudantes no Projeto Genolyptus, foram, mais tarde contratados pelas várias empresas e atuam até hoje na interface entre genômica e melhoramento.

O foco central do Projeto Genolyptus foi a geração de uma plataforma integrada de recursos experimentais de campo e bases de dados genômicos para descobrir, mapear e buscar o entendimento da variação nos genes e regiões genômicas subjacentes às várias características de importância econômica em *Eucalyptus*, com ênfase no crescimento, formação da madeira e resistência a doenças. O Projeto Genolyptus gerou uma coleção de mais de 130 mil sequências expressas de quatro espécies de *Eucalyptus* incluindo *E. grandis, E. globulus, E. pellita* e *E. urophylla*, buscando assim capitalizar na variação interespecífica do gênero. Esta coleção cobriu os estimados 22 mil genes

do eucalipto na época e permitiu a identificação de vários genes de lignificação e síntese de celulose, entre outros, e o estudo das diferenças entre as espécies. Esta base de dados foi utilizada para a realização de um experimento de análise de expressão gênica em microarranjo com 390.000 sondas representando os 22 mil genes identificados. Os resultados deste experimento forneceram informações inéditas sobre o desempenho deste primeiro microarranjo de todo o transcriptoma de *Eucalyptus* em nível mundial, bem como uma primeira visão da variação nos níveis de expressão gênica entre e dentro de espécies de *Eucalyptus* que possuem características contrastantes em termos de propriedades físicas e químicas da madeira. A partir da mineração desta base de dados foram também desenvolvidos e geneticamente mapeados 540 marcadores microssatélites, os quais permitiram a construção de múltiplos mapas genéticos e a execução de experimentos de mapeamento genético de QTLs.

Com base na avaliação dos experimentos de campo, avanços foram realizados na construção de diversos mapas genéticos e localização de QTLs controlando características de crescimento volumétrico, densidade básica da madeira, teores de hemiceluloses e lignina, florescimento precoce e resistência a doenças fúngicas e bacterianas. A interação estreita entre os cientistas das instituições públicas e privadas permitiu grandes avanços na área de tecnologia da madeira e de fitopatologia. Foram internalizadas novas metodologias de avaliação precisa e rápida das propriedades químicas da madeira usando espectrometria do infravermelho próximo. Árvores que apresentavam resistência às quatro doenças bacterianas ou fúngicas alvo do projeto foram identificadas e o mapeamento genético em progênies segregando para estas resistências permitiu a localização de QTLs de maior efeito controlando estas resistências. Os experimentos de mapeamento genético de QTL desenvolvidos no âmbito do Genolyptus foram fundamentais para que se fizesse uma avaliação crítica desta abordagem, até então canônica, para a tentativa de seleção assistida, abrindo espaço, mais tarde para a mudança de paradigma neste tema com a pesquisa e adoção da seleção genômica no melhoramento do eucalipto (Grattapaglia; Resende, 2011; Resende et al., 2012).

Além do banco de sequências, mapas genéticos e marcadores moleculares, o Genolyptus gerou um importante recurso genômico na forma de duas bibliotecas de fragmentos longos de DNA do eucalipto, clonados em Bacterial Artificial Chromosomes (BAC), sendo uma delas a partir do DNA da árvore cujo genoma foi, em seguida, sequenciado integralmente. Estes fragmentos longos de DNA foram sequenciados visando a clonagem de genes envolvidos na síntese de lignina e celulose (Paiva et al., 2011), mas se tornaram efetivamente essenciais para a pesquisa internacional ao dar suporte ao sequenciamento e montagem completa do genoma do eucalipto. Durante um congresso internacional em 2005, a comunidade científica trabalhando com genética e genômica de *Eucalyptus* formatou o que viria a ser um projeto de sequenciamento do genoma do eucalipto, submetido em 2007 ao centro de sequenciamento (Joint Genome Institute) do Departamento de Energia dos EUA.

Após concorrer com mais de 120 projetos do mundo todo, a proposta foi aprovada em Junho de 2007 e o projeto começou em janeiro de 2008 com a entrega da amostra de DNA da árvore brasileira BRASUZ1 de *E. grandis*, eleita como a mais adequada para o projeto para facilitar o trabalho de montagem do genoma (Myburg et al., 2011). Este projeto internacional, de acesso totalmente público, representou um salto quantitativo e qualitativo gigantesco para a genômica e genética do eucalipto, comparável àquele que ocorreu com o sequenciamento do genoma humano. A participação da Embrapa e do Brasil como um todo, por meio dos seus pesquisadores organizados em grupo, juntamente com o acesso aos recursos genômicos, material vegetal e bases de dados geradas no âmbito do Projeto Genolyptus, foi decisiva para alavancar a aprovação e concretização deste projeto internacional que, ao publicar em 2013 a sequência completa e interpretada do genoma do eucalipto na prestigiosa revista *Nature* (Myburg et al., 2014), colocou a espécie entre as poucas árvores cujo genoma foi sequenciado até hoje.

Um aspecto interessante de destacar como uma contribuição da Embrapa por meio do Projeto Genolyptus é o fato da rede ter sido citada reiteradamente como modelo de sucesso na área de inovação via redes de cooperação tecnológica, para a criação de conhecimento em publicações da Fundação Getúlio Vargas (FGV) (Figueiredo, 2014, 2016) e se tornou um *case study* na Fundação Dom Cabral (FDC). O estudo detalhado feito pela FDC se baseou em diversos documentos gerados ao longo do projeto e entrevistas semiestruturadas com os principais participantes seja das universidades bem como das empresas. Foram analisados vários aspectos, desde as particularidades do setor florestal, o histórico da formatação inicial do Projeto Genolyptus com seus termos de compromisso, confidencialidade e regimento interno de funcionamento da rede, até a rotina de troca de informações entre os participantes e a importância do capital relacional do seu lider para que o projeto se concretizasse. Entre as várias conclusões deste estudo, que resultou em uma tese de doutorado e algumas publicações internacionais (Milagres; Silveira, 2008; Foss; Milagres, 2014), os autores destacaram que a rede Genolyptus teve sucesso pois, aproveitando o histórico cooperativo do setor florestal, conseguiu gerar forte identidade entre seus membros, realizou uma repartição clara do trabalho e responsabilidades entre os membros e teve um caráter democrático dos processos de decisão criados. Dizem os autores:

> O que a Rede Genolyptus pode ensinar a outras redes? Muito. Sugere-se a observação da estrutura de coordenação implementada e as relações de proximidade entre empresas, institutos de pesquisa e universidades, que são os elementos diferenciadores dessa rede. (Milagres, 2009, p. 35).

A Embrapa protagoniza o desenvolvimento de recursos genômicos para espécies de *Eucalyptus*

Marcadores moleculares vêm sendo utilizados em espécies de *Eucalyptus* desde os anos 80, quando marcadores isoenzimáticos permitiram realizar os primeiros estudos de sistemas de cruzamento em pomares de sementes e analisar a diversidade genética de populações naturais (Moran et al., 1983; Moran, 1992). Desde então, a análise genética de espécies de *Eucalyptus* progrediu essencialmente em razão do desenvolvimento de técnicas moleculares começando com marcadores Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) no início dos anos 90 (Byrne et al., 1993) e, principalmente, com as técnicas baseadas na reação de polimerase e cadeia (PCR) dos marcadores Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) (Grattapaglia et al., 1992) e Amplifid Fragment Length Polymorphisms (AFLP) (Gaiotto et al., 1997). Marcadores RFLP logo foram abandonados como técnica viável para análises na escala desejada, em vista de sua baixa eficiência e alto custo. Marcadores RAPD e, em menor escala, AFLP tiveram assim um papel fundamental ao facilitar o acesso rápido e econômico do eucalipto ao mundo da genética molecular, apesar da absoluta carência de recursos moleculares, em comparação a espécies anuais que já contavam com elevado financiamento e amplas redes de pesquisa na época. Ao permitir a análise de várias dezenas ou centenas de marcadores no genoma, marcadores RAPD permitiram realizar análises de variabilidade, distância e identidade genética entre indivíduos de *Eucalyptus* (Grattapaglia et al., 1992). Ao reunir a flexibilidade de marcadores RAPD com a abordagem simples, porém criativa e inédita até então de mapeamento genético por pseudo-cruzamento teste, foram gerados os primeiros mapas genéticos para espécies de *Eucalyptus* (Grattapaglia; Sederoff, 1994; Verhaegen, 1996) e, logo em seguida, o mapeamento dos primeiros QTLs no gênero (Grattapaglia et al., 1995, 1996; Verhaegen et al., 1997), caminho seguido também com marcadores AFLP (Marques et al., 1998, 1999; Myburg et al., 2003).

Apesar da importância histórica de marcadores RAPD e AFLP ao inaugurar a entrada do eucalipto e, na verdade, de inúmeras outras espécies de plantas e animais na época, na era da genômica, estas tecnologias, por suas características metodológicas, não se tornaram recursos genômicos efetivos, ou seja recursos de ampla e duradoura utilização pela comunidade técnica e científica. Além da limitação da herança dominante e baixo conteúdo informativo, marcadores RAPD e AFLP se baseavam na amplificação simultanea de múltiplos segmentos de DNA por meio de iniciadores de PCR com sequência arbitrária, gerando marcadores sem endereço específico conhecido no genoma de um indivíduo e que apenas em parte aderiam aos princípios básicos de segregação mendeliana. Estas metodologias apresentavam, assim, limitações de reprodutibilidade entre laboratórios ou mesmo entre análises distintas em um mesmo laboratório a depender dos reagentes utilizados e, principalmente do rigor e critérios

do experimentador na coleta e análise de dados. Informações genéticas geradas com marcadores RAPD e AFLP tinham, portanto, vida curta e os marcadores propriamente ditos não eram facilmente portáveis entre estudos, o que impedia a comparação e reprodução de resultados.

Marcadores microssatélites: contribuição pioneira da Embrapa para a análise genômica de *Eucalyptus*

Na primeira metade dos anos 90 com a primeira onda de avanço tecnológico e redução de custos dos métodos e equipamentos de sequenciamento de DNA, a capacidade de geração de sequências de DNA aumentou significativamente. Este avanço, por sua vez, permitiu o desenvolvimento de outros tipos de marcadores moleculares baseados na PCR, desta vez amplificados em um endereço preciso e único no genoma, com herança mendeliana codominante. Além disso, estes marcadores se baseavam em uma classe de sequências de DNA repetitivo, altamente variável entre indivíduos, chamadas de sequências simples repetitivas (SSR simple sequence repeats), repetições curtas em tandem (STR short tandem repeats) ou microssatélites. Amplas baterias de microssatélites foram logo desenvolvidas para seres humanos, rapidamente revolucionando a velocidade de mapeamento genético e identificação de genes envolvidos no controle de doenças mendelianas (Weissenbach et al., 1992). O desenvolvimento de marcadores microssatélites logo foi seguido para algumas das principais culturas agrícolas como soja (Akkaya et al., 1992) e milho (Senior et al., 1996). Marcadores microssatélites se tornaram, assim, o padrão ouro em termos de metodologia de análise genética com marcadores moleculares em plantas, animais e microorganismos eucariotos (Figura 3).

Em 1995 foi criado o Laboratório de Genética Vegetal (LGV) dentro da área de recursos genéticos da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Embrapa Cenargen), com o mandato de apoiar projetos de caracterização e conservação de recursos genéticos e programas de melhoramento de plantas da empresa, com base no desenvolvimento, otimização e aplicação de marcadores moleculares e demais tecnologias genômicas que estavam começando a surgir. Em vista da revolução que marcadores microssatélites representavam para o avanço da aplicação da genética molecular nestas áreas, o laboratório estabeleceu, mediante interações pessoais anteriores dos líderes do LGV-Embrapa, uma colaboração informal com a empresa Dupont nos EUA, cujo time já estava muito avançado no desenvolvimento e uso de microssatélites para o melhoramento de milho (Taramino; Tingey, 1996). Dois estudantes de doutorado na época sendo treinados no LGV-Embrapa, passaram um período de treinamento sanduiche na Dupont e retornaram com centenas de marcadores microssatélites descobertos para *Eucalyptus* e arroz e, o mais importante, todo o conhecimento tecnológico para o desenvolvimento de microssatélites. Em paralelo a este treinamento, em

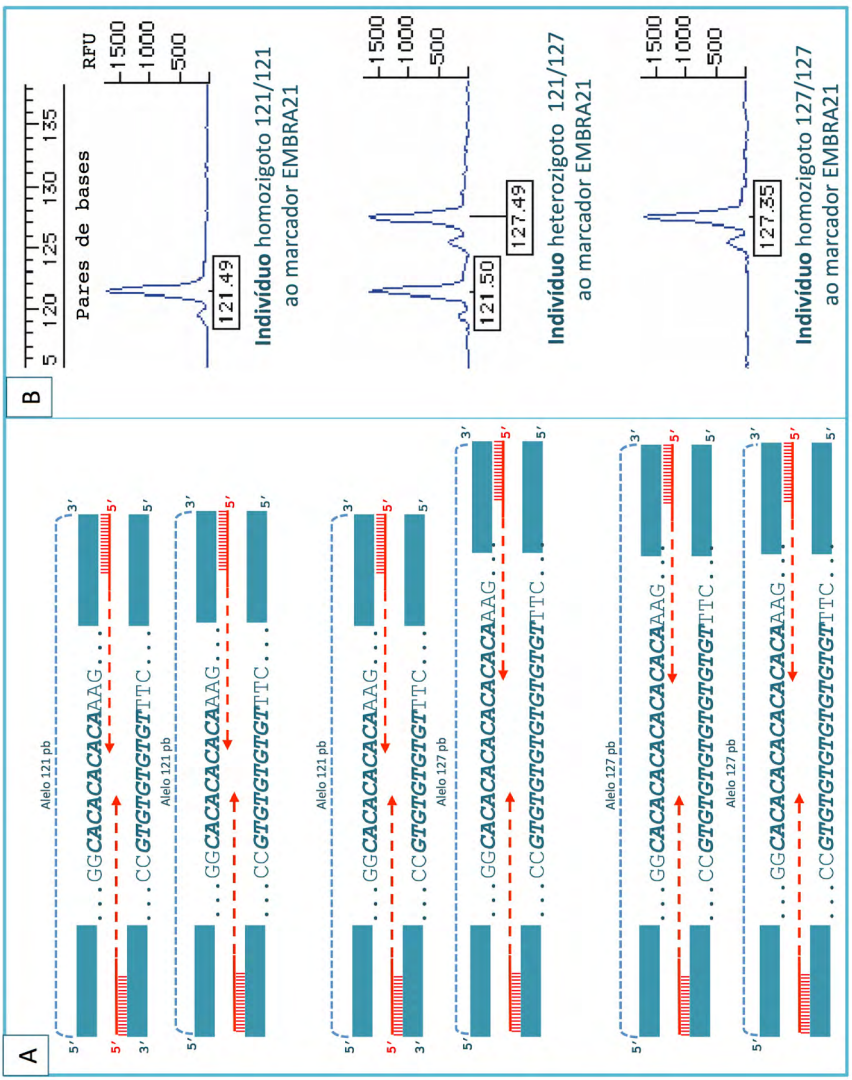


Figura 3. (A) Base genética do marcador molecular microssatélite, ilustrando um diagrama das sequências de DNA amplificadas via PCR de um dos mais de 500 marcadores microssatélites EMBRA desenvolvidos pela Embrapa. São destacados três indivíduos de *Eucalyptus*, apresentando genótipos distintos pela variabilidade no número de unidades repetitivas do dinucleotídeo $(CA)_n$ nos diferentes alelos em configurações de homozigose ou heterozigose. (B) Eletroferogramas os três indivíduos, ilustrando a detecção dos alelos ao marcador microssatélite com os respectivos tamanhos estimados em pares de bases, considerando que frações decimais são ajustadas para a unidade via software na exportação final dos genótipos.

1996 o LGV-Embrapa adquiriu o primeiro sequenciador automático de DNA ABI-377 no Brasil e demais equipamentos necessários para a implementação da tecnologia de desenvolvimento e análise automatizada de microssatélites por meio de recursos competitivos obtidos com um projeto do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tenológico (PADCT) do CNPq. Com esta iniciativa, a Embrapa se tornou em 1996 a instituição pioneira no país no desenvolvimento de microssatélites para espécies vegetais, logo estendendo o trabalho para fungos fitopatogénicos. Nos anos seguintes o LGV-Embrapa se tornou uma verdadeira "fábrica" de descoberta e desenvolvimento de microssatélites para mais de 30 espécies de plantas e fungos, divulgando a tecnologia (Kirst et al., 1997; Brondani et al., 2007), treinando profissionais por meio de cursos, e viabilizando inúmeros projetos de pesquisa da Embrapa em colaboração com várias universidades e instituições de pesquisa do Brasil e algumas do exterior.

Especificamente para espécies de *Eucalyptus*, a Embrapa apresentou os primeiros resultados deste trabalho no congresso internacional da International Union of Forest Research Organization (Iufro) de silivicultura de Eucalipto em Salvador, BA, em 1997 (Brondani et al., 1997) e, em seguida, publicou os primeiros microssatélites para espécies de *Eucalyptus* com informação de mapeamento (Brondani et al., 1998), dando início a uma das principais contribuições para a comunidade científica internacional na área de genética e melhoramento do eucalipto, além de iniciar a internalização da genética molecular aplicada no setor industrial de base florestal do Brasil e do mundo. Com os recursos de sequenciamento do genoma do eucalipto gerados no Projeto Genolyptus (Rede Brasileira de Pesquisa do Genoma do Eucalipto), discutido anteriormente, a Embrapa seguiu neste trabalho de uma forma mais intensa desenvolvendo coleções de várias centenas de microssatélites geneticamente mapeados (Brondani et al., 2002, 2006; Marques et al., 2002; Faria et al., 2011b; Grattapaglia et al., 2015) e sistemas otimizados de marcadores para "fingerprinting" de clones e populações (Kirst et al., 2005; Faria et al., 2010, 2011a).

Estes marcadores com a denominação Embra, que remete à Embrapa, bem como a um acrônimo para Eucalyptus Microsatellites from Brazil, são usados hoje por dezenas de laboratórios públicos e privados em todo o mundo. Apesar de terem sido publicadas algumas dezenas de microssatélites por outros grupos na Austrália, os microssatélites Embra representam um dos mais importantes recursos para pesquisa genética e genômica de espécies de *Eucalyptus* e, seguramente, o recurso mais amplamente usado pelo fácil acesso, grande número de marcadores, ampla aplicabilidade em diversas áreas de pesquisa e baixo custo de utilização (Grattapaglia et al., 2012). Vários trabalhos aplicando microssatélites na solução de problemas práticos do melhoramento e descoberta de associações entre variação genômica e fenotípica, discutidos na seção de aplicações a seguir, foram realizados pelo time do LGV-Embrapa em colaboração com empresas florestais, universidades brasileiras e internacionais por meio da

atuação de dezenas de estudantes, trabalhos estes relatados em revisões bibliográficas publicadas pela equipe do LGV-Embrapa ou em colaboração com outros grupos ao longo dos anos (Grattapaglia, 2000, 2006; Myburg et al., 2007; Grattapaglia; Kirst, 2008; Grattapaglia et al., 2012).

Marcadores SFPs, SNPs e GbS: a Embrapa avalia novas tecnologias de genotipagem de *Eucalyptus*

A partir de 2005, com o avanço extraordinário das novas tecnologias de sequenciamento de DNA (Next Generation Sequencing (NGS)), em paralelo ao desenvolvimento de plataformas de genotipagem de alto desempenho, a área de análise genômica passou por uma verdadeira revolução na possibilidade de descobrir e analisar a variação existente diretamente na sequência de DNA, decorrente de inserções e deleções de sequência, bem como dos chamados polimorfismos de base individual (Single Nucleotide Polymorphisms (SNP)), a maior fonte de variação de sequência em genomas (Figura 4). Ao longo do Projeto Genolyptus, atento a estes desenvolvimentos tecnológicos na área da genômica, e em vista da necessidade de tecnologias accessíveis, econômicas e de maior cobertura genômica para implementar ações genômicas mais efetivas no melhoramento de *Eucalyptus*, a equipe do LGV-Embrapa, a partir de 2007, enxergou oportunidades de evoluir de microssatélites para metodologias mais avançadas que permitissem genotipar polimorfismos de sequência em larga escala. Embora microssatélites oferecessem vantagens analíticas do ponto de vista de conteúdo informativo e transferibilidade, o número de marcadores e a velocidade com a qual podiam ser genotipados limitavam seu uso para aplicações em escala genômica (*genome-wide*). Tecnologias de sequenciamento massal (Barbazuk et al., 2007) e metodologias de genotipagem de SNPs, desenvolvidas principalmente para seres humanos, sistemas modelo e algumas plantas cultivadas, já permitiam, respectivamente, a descoberta e a análise de milhares de polimorfismos de sequência de forma muito mais rápida e a custos inferiores aos custos dos marcadores microssatélites, quando avaliados na base do custo por genótipo e por indivíduo (*data point*) (Murray et al., 2004; Gunderson et al., 2005; Ganal et al., 2009).

Entretanto, embora o custo por genótipo de SNPs já tivesse alcançado naquele momento valores da ordem de alguns centavos de dólar, os custos por amostra ainda eram da ordem de 150 a 200 US$ para a genotipagem de alguns milhares de SNPs por meio da tecnologia "padrão ouro" usada para seres humanos e baseada em microarranjos fixos de SNPs. Na área florestal, somente para as coníferas *Pinus taeda* e *Picea abies*, ambas com amplo financiamento de grandes projetos de genômica florestal no Canadá e EUA, respectivamente, microarranjos fixos com centenas a poucos milhares de SNPs haviam sido desenvolvidos (Pavy et al., 2008; Eckert et al., 2009). No caso de *Eucalyptus*, apesar da disponibilidade de bancos de sequências do Projeto Genolyptus

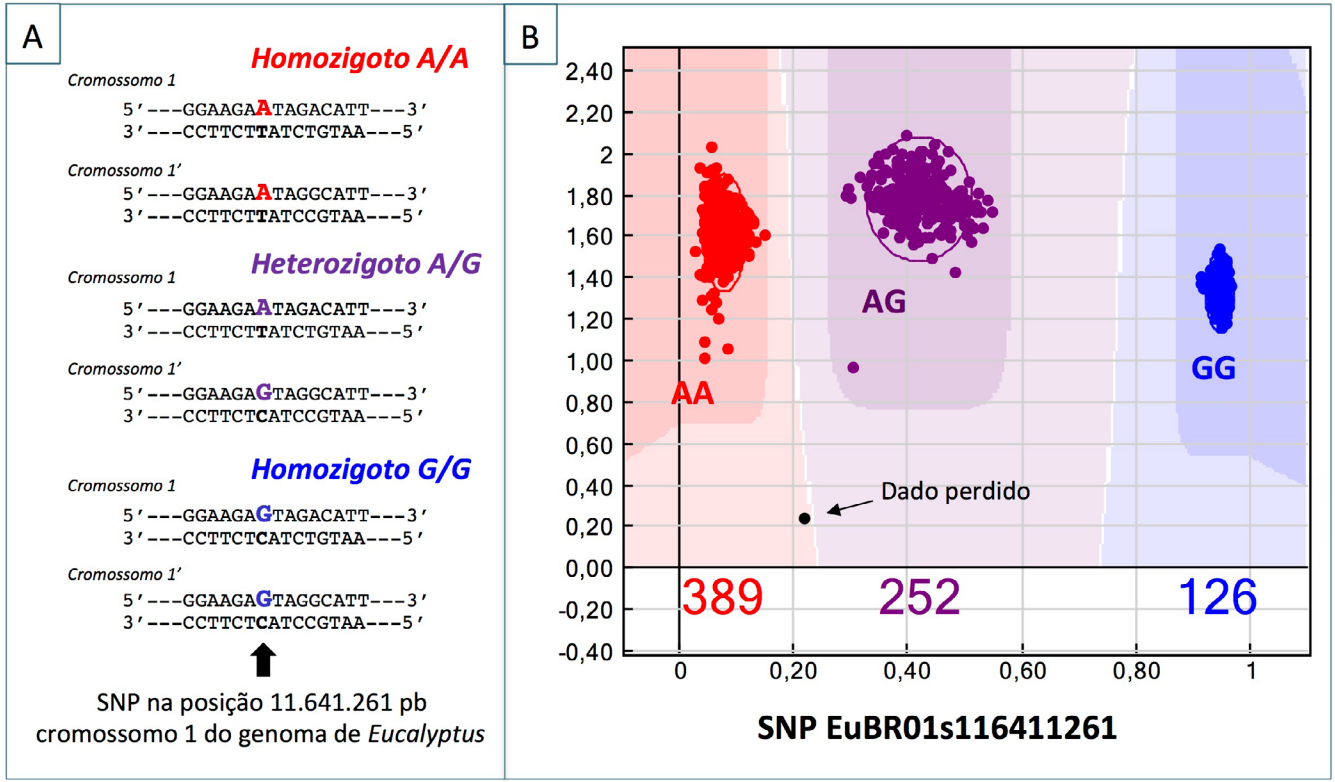


Figura 4. (A) Base genética do marcador SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*). Para cada um de três indivíduos, o diagrama ilustra os dois homólogos do cromossomo 1 do genoma de *Eucalyptus grandis* e a posição de coordenada 11.641.261 pares de bases na qual ocorre um SNP cuja variação de base é A ou G correspondendo aos dois alelos. (B) Detecção e genotipagem automatizada via software do marcador SNP realizada com o "chip" de 60.000 SNPs (EuCHIP60K) desenvolvido pela Embrapa. O SNP EuBR01s11641261 (*Eucalyptus* Brasil; cromossomo 01; posição 11.641.261 pb) foi genotipado em 768 indivíduos de diferentes espécies de *Eucalyptus* resultando em 389 indivíduos homozigotos AA, 252 indivíduos heterozigotos AG, 126 indivíduos homozigotos GG e um indivíduo com dado faltante.

e bancos maiores ainda de sequências gerados com as novas tecnologias NGS (Novaes et al., 2008) e sequências disponíveis de forma crescente com o projeto do genoma completo, ainda não existia esforço em nível mundial até aquele momento para o desenvolvimento de metodologias de genotipagem de SNPs para espécies do gênero e os recursos eram escassos. Quatro projetos paralelos foram então desenvolvidos no LGV-Embrapa entre 2007 e 2010 visando avaliar diferentes abordagens paralelizadas de genotipagem de centenas a milhares de polimorfismos de sequência de DNA que fossem accessíveis a custos relativamente baixos.

O primeiro deles envolveu o desenvolvimento de um microarranjo de Single Feature Polymorphisms (SFPs) em parceria com a University of Florida envolvendo o treinamento de um mestrando do LGV-Embrapa, naquela instituição. SFPs são, traduzindo o termo, polimorfismos de elementos únicos, ou seja, um tipo de marcador baseado na presença ou ausência de hibridização de DNA complementar a sondas desenhadas a partir de sequências de RNA, detectando dessa forma qualquer tipo de polimorfismo de sequência em regiões transcritas do genoma que resultasse em hibridização ou não da sonda. Um microarranjo de triagem com 103 mil sondas desenhadas a partir dos 20.276 genes únicos descritos na base de dados do Projeto Genolyptus foi construído. Um microarranjo operacional com um total de 43.777 sondas selecionadas representando 15.698 genes foi então utilizado para a construção de um mapa genético sobre o qual foram posicionados 1845 genes, 87% dos quais mapearam na localização esperada na sequência do genoma de *Eucalyptus grandis* (Neves et al., 2011). Esta metodologia embora interessante, não se mostrava suficientemente automatizável e econômica para uso em larga escala para aplicações no melhoramento além de ter herança dominante, embora tentativas tenham sido feitas para analisar a intensidade do sinal de hibridização dos SFPs e com isso derivar marcadores codominantes.

O segundo projeto representou o primeiro trabalho em nível internacional de desenvolvimento de um chip de SNPs para espécies de *Eucalyptus*. Para o genoma do eucalipto, a abundância de SNPs como resultado da elevada heterozigosidade e diversidade genética facilitavam a sua identificação. Por outro lado, por apresentar uma alta diversidade de nucleotídica, um diagnóstico mais refinado do contexto de sequência de localização do SNP era necessário para desenhar sondas que permitissem a genotipagem acurada com a tecnologia disponível na época para o chip (Golden Gate Genotyping Technology, GGGT). Esta questão se tornava ainda mais exacerbada para o plano do projeto que era permitir a transferibilidade de SNPs entre as diferentes espécies de *Eucalyptus*, um tema que ainda era praticamente inexplorado, uma vez que chips de SNPs somente eram desenvolvidos para uma mesma espécie de planta ou animal. A equipe do LGV-Embrapa iniciou nesta época uma parceria mais intensa ainda com o laboratório de bioinformática da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia que já participava ativamente do Projeto Genolyptus e do projeto internacional de sequenciamento do genoma de *Eucalyptus grandis*. Neste momento, uma

primeira versão do genoma de *Eucalyptus grandis* com 4,5X de cobertura de sequenciamento já era accessível para os participantes do projeto internacional juntamente com uma ampla base de dados de sequências de genes expressos. O acesso a estes recursos genômicos possibilitou realização do primeiro trabalho sistemático de descoberta de SNPs em larga escala para espécies do gênero. Foi desenvolvido o primeiro chip de baixa densidade com 768 SNPs para *Eucalyptus* a partir da análise de um banco de dados com 1.164.695 de sequências de genes expressos de *Eucalyptus* envolvendo as cerca de 130 mil sequências geradas pela tecnologia Sanger no Projeto Genolyptus e de trabalhos pioneiros de sequenciamento em larga escala com a tecnologia 454 realizado pela University of Florida.

O trabalho descrevendo este avanço (Grattapaglia et al., 2011), além de resultar no primeiro sistema de genotipagem de SNPs para *Eucalyptus* no mundo, fez uma importante contribuição para a área no direcionamento da necessidade de avaliação sistemática de SNPs, em genomas altamente heterozigotos, no processo de desenvolvimento de chips de SNPs. O trabalho quantificou o impacto da aplicação de restrições de ausência de SNPs adicionais nas sequências flanqueantes ao SNP, no desempenho qualitativo da genotipagem. A partir de um total de 162.141 SNPs identificados na base de sequências gênicas, 768 SNPs foram selecionados para o chip, e destes, os 288 que haviam sido selecionados com mais restrições de contexto de sequência forneceram genotipagem de mais alta qualidade. Obteve-se sucesso da genotipagem acima de 93% em um painel diversificado de indivíduos de nove espécies de *Eucalyptus* pertencentes a três seções dentro do subgênero *Symphomyrtus*, e ainda satisfatórias para as espécies de dois subgêneros adicionais, embora o polimorfismo fosse cada vez menor à medida que a distância filogenética aumentava em relação às espécies do subgênero *Symphomyrtus*. Um avanço importante deste trabalho foi a demonstração que seria viável o desenvolvimento de um conjunto muito maior de SNPs informativos para *Eucalyptus* com grande possibilidade de transferibilidade entre as principais espécies plantadas. Para um desenvolvimento de um chip de mais alta densidade de SNPs, entretanto, concluiu-se que seria vital partir de uma coleção extensa de sequências de DNA com ampla representatividade de espécies e indivíduos, para permitir uma seleção precisa de SNPs com as devidas restrições de contexto de sequência ao longo de todo o genoma.

A terceira metodologia avaliada, denominada Diversity Array Technology (DArT), foi fruto de uma parceria com a empresa australiana Diversity Array Technologies e o grupo de pesquisa em eucalipto da University of Tasmania. A metodologia DArT foi descrita há quase 20 anos nos primórdios do surgimento da tecnologia de microarranjos de ácidos nucleicos (Jaccoud, Peng et al., 2001), e apresentava várias das características desejadas em termos de paralelização da análise de centenas a milhares de marcadores, a possibilidade de genotipar diferentes espécies do gênero, e o baixo custo, o que atenderia com sucesso o que era buscado para *Eucalyptus*. O mesmo modelo adotado

pelo LGV-Embrapa mais uma vez se mostrou vencedor: dois doutorandos que atuavam no LGV-Embrapa trabalharam na empresa DArT na Australia por mais de um ano no desenvolvimento e posteriormente utilização de um microarranjo com 7.680 marcadores para *Eucalyptus*. Estes marcadores correspondem a uma coleção representativa de sequências genômicas de cópia única com 300 a 500 pares de bases produzidas via redução de complexidade com enzimas de restrição e arranjadas sobre um slide de vidro. As amostras a serem analisadas são preparadas com o mesmo procedimento de redução de complexidade genômica, amplificadas via PCR e, em seguida, hibridizadas no microarranjo, fornecendo marcadores dominantes do tipo presença ou ausência como resultado da captura do sinal de hibridização em um scanner.

O microarranjo DArT para *Eucalyptus* (Sansaloni et al., 2010) pelas suas características técnicas, foi particularmente valioso por permitir genotipar milhares de marcadores para centenas ou milhares de amostras a baixo custo para as várias espécies do gênero. Logo alcançou amplo uso por diversos grupos trabalhando com espécies de *Eucalyptus* no mundo, constituindo mais uma importante contribuição da equipe da Embrapa, em parceria com os colegas australianos, para a comunidade mundial do eucalipto. Em um trabalho subsequente, os fragmentos de DNA que compõem o arranjo foram sequenciados, caracterizados e geneticamente mapeados (Petroli et al., 2011), fornecendo marcadores âncoras que foram fundamentais, mais tarde, juntamente com outros mapas genéticos (Hudson et al., 2012) para auxiliar o processo de montagem e ordenamento dos pseudo-cromossomos do genoma de referência do eucalipto. O microarranjo DArT para *Eucalyptus* foi também chave na investigação de questões filogenéticas até aquele momento pendentes no gênero, envolvendo diferenciação de espécies, identificação de híbridos interespecíficos e resolução de disjunções biogeográficas entre espécies (Steane et al., 2011). Finalmente, na área da genômica aplicada ao melhoramento, o microarranjo DArT foi a ferramenta genômica essencial para a genotipagem em larga escala de diversas populações, o que permitiu ao grupo da Embrapa entrar pioneiramente na área experimental de seleção genômica em espécies florestais, de maneira geral e para o gênero *Eucalyptus* em particular (Resende et al., 2012), abrindo uma longa história de avanços neste tema, discutido em detalhe mais à frente.

Com o avanço das tecnologias e redução de custos de sequenciamento no período de 2008 a 2009, metodologias de genotipagem de SNPs por sequenciamento Genotyping by Sequencing (GbS) foram surgindo, explorando a possibilidade de genotipar polimorfismos em sequências curtas geradas via sequenciamento massal Next Generation Sequencing (NGS) de pools de indivíduos indexados com adaptadores específicos que permitem recuperar a identidade de cada indivíduo no pool (Davey et al., 2011). A dificuldade de montar, acessar e manter plataformas de sequenciamento NGS no Brasil e a dificuldade crônica do país de importar reagentes, a equipe do LGV-Embrapa passou a utilizar cada vez mais o conceito de contratação de serviços

genômicos no exterior. Nesta época, empresas de prestação de serviços de sequenciamento e genotipagem começaram a se estabelecer nos EUA, China e outros países, criando uma saudável concorrência internacional, o que causou, juntamente com o avanço das tecnologias, uma redução rápida dos custos. Tornou-se assim muito mais econômico, rápido e com maior qualidade de dados, contratar serviços no exterior do que tentar comprar e manter equipamentos de rápida obsolescência, importar reagentes e treinar pessoas para atividades de rotina. Atualmente, o *modus operandi* estabelecido para trabalhos na área de análise genômica envolvendo sequenciamento e genotipagem é mediante a contratação de serviços genômicos no exterior, permitindo às equipes dedicar mais tempo ao planejamento experimental, análise, interpretação e utilização dos dados gerados.

Três abordagens de genotipagem baseada em sequenciamento existiam e foram avaliadas como uma terceira alternativa para a análise genética de *Eucalyptus*, em larga escala. A técnica de GbS (Elshire et al., 2011) foi avaliada tanto no no LGV-Embrapa como por meio da contratação de serviço na Cornell University; a técnica RAD-sequencing (Restriction Amplified DNA Sequencing) (Baird et al., 2008) foi contratada com a empresa Floragenex também nos EUA e a versão da metodologia DArT baseada em sequenciamento, neste caso denominada DArT-seq (Sansaloni et al., 2011), com a empresa DArT na Austrália. As três metodologias são essencialmente equivalentes com apenas algumas variações na forma de preparo inicial do DNA da amostra. As metodologias se baseiam, resumidamente, na redução de complexidade genômica da amostra de DNA total, utilizando corte com uma ou duas enzimas de restrição e, no caso de RAD-sequencing, realizando uma quebra aleatória (*shearing*) do DNA após o corte com enzima. Após a redução de complexidade e antes do sequenciamento, cada amostra de DNA a ser genotipada recebe adaptadores com sequências indexadoras (*barcodes*) que permitem mais tarde rastrear as sequências geradas para cada amostra. Fragmentos obtidos dentro de uma faixa de tamanho adequado são, então, selecionados e sequenciados gerando dezenas de milhões de sequências curtas (70 a 150 bases) em plataformas de sequenciamento NGS. Com a indexação de cada amostra com um *barcode* específico, dezenas de amostras podem ser sequenciadas conjuntamente em cada canaleta de sequenciamento, otimizando significativamente os custos de geração dos dados. Milhares ou dezenas de milhares de marcadores potenciais, na forma de polimorfismos de presença ou ausência, derivados da variabilidade na distribuição dos sítios de restrição, e SNPs entre sequências em comum entre as amostras são detectados por meio do mapeamento das sequências geradas sobre um genoma de referência. Os dados são filtrados intensamente para métricas de qualidade, resultando em alguns até vários milhares de marcadores efetivamente úteis, dependo da diversidade da espécie. Ao longo dos projetos, a equipe do LGV-Embrapa testou o protocolo GbS (Elshire et al., 2011) em *Eucalyptus* obtendo cerca de 17.000 SNPs segregando em uma população de mapeamento, e mais de 130.000 SNPs potenciais

em uma amostra de 24 indivíduos geneticamente não relacionados de *E. grandis* (Faria et al., 2012). A técnica DArT-seq foi utilizada para a construção de mapas genéticos de alta densidade (Sansaloni et al., 2011) e a técnica RAD-sequencing para descoberta de SNPs (Grattapaglia et al., 2011), os quais, foram utilizados mais tarde para calibrar a descoberta e seleção de SNPs realizada visando a construção de um micro arranjo fixo de SNPs para *Eucalyptus*, discutido a seguir.

Estes métodos de genotipagem baseados em sequenciamento eram atraentes na época, pois supostamente forneceriam um grande número de SNPs de qualidade a um custo menor por amostra, quando comparados a microarranjos de conteúdo fixo de SNP. Esta promessa se concretizou relativamente bem para espécies autógamas, para as quais a homozigose de plantas é elevada ou praticamente total em linhagens comerciais, o que facilita a análise de SNPs. Entretanto, os resultados obtidos com as três metodologias em plantas de *Eucalyptus* revelaram que os desafios eram expressivos para se considerar a genotipagem direta de SNPs com alta acurácia em plantas alógamas com elevada heterozigosidade. A baixa cobertura de sequenciamento utilizada para manter os custos accessíveis resultava em uma grande quantidade de dados faltantes derivados de uma amostragem altamente variável dos locos, afetando seriamente a reprodutibilidade entre os experimentos, seja em termos da capacidade de amostrar os mesmos SNPs, bem como de reproduzir o mesmo genótipo ao SNP amostrado. Nos experimentos de GbS realizados no LGV-Embrapa as estimativas de reprodutibilidade somente alcançaram cerca de 65%, uma taxa claramente inaceitável. Serviços de GbS contratados junto ao centro de prestação de serviços genômicos da Cornell University forneceram resultados equivalentes. Entre as três técnicas avaliadas, a DArT-seq foi a que forneceu os melhores resultados, por utilizar uma maior cobertura de sequenciamento e processar os dados com uma filtragem intensa, procedimentos estes que, por outro lado, resultavam em maiores custos e em uma quantidade final de SNPs abaixo do necessário. Diversos trabalhos publicados nos anos subsequentes destacaram problemas com estas técnicas, mostrando que a divergência entre o genoma das amostras genotipadas e o genoma de referência utilizado na análise também contribuía para uma reprodutibilidade genotípica variável que se mostrava mais exacerbada em genomas heterozigotos (Myles, 2013), impactando as medidas de diversidade genética e, por conseguinte, as conclusões de estudos realizados com estas técnicas (Arnold et al., 2013; Gautier et al., 2013; Lowry et al., 2016).

A avaliação das tecnologias de genotipagem de polimorfismos de sequências no DNA permitiu à equipe do LGV-Embrapa chegar a algumas conclusões importantes que direcionaram os passos subsequentes. A tecnologia SFP não era eficiente em termos de tempo, custo e limitações técnicas, pois envolvia a redução de complexidade genômica com base em RNA. A tecnologia DArT de microarranjos de sondas tinha uma limitação ao número de marcadores que poderiam ser analisados, apenas 7.680, além de ser fornecida por apenas uma empresa no mundo que detinha a proteção da

tecnologia, o que representava um risco de falta de fornecimento de serviço caso a empresa saísse do mercado. Todas as metodologias de genotipagem por sequenciamento não haviam apresentado resultados satisfatórios de robustez analítica, mesmo contratando serviços em centros especializados. A única metodologia com desempenho adequado para as aplicações previstas no melhoramento foi o chip de 768 SNPs que, além de fornecer dados robustos com elevada reprodutibilidade, também demonstrou a possibilidade de genotipar os mesmos SNPs em diferentes espécies. A tecnologia GGGT utilizada para este chip de SNPs era o "padrão ouro" até então, mas novas nanotecnologias já haviam surgido e vinham revolucionando a genotipagem em larga escala em seres humanos, permitindo a análise de um número muito maior de SNPs. Além disso, nesta altura dos acontecimentos, com a concorrência crescente na área de genotipagem em nível mundial, micro arranjos fixos de SNPs estavam se tornando significativamente mais accessíveis em termos de custo, desde que existisse a perspectiva concreta de genotipar uma quantidade suficientemente grande de alguns milhares de amostras. Viu-se, então, a oportunidade de propor um projeto de desenvolvimento de um sistema de genotipagem de alto desempenho para espécies de *Eucalyptus* que viesse a efetivamente revolucionar a capacidade de integração da genômica no melhoramento do eucalipto.

EUCHIP60K de SNPs para *Eucalyptus*: a Embrapa inova a genotipagem mundial em larga escala

Os projetos descritos anteriormente que visaram a avaliação de tecnologias de genotipagem para avançar na área de seleção genômica foram financiados por um projeto competitivo denominado Núcleo de Excelência de Genômica Florestal Aplicada (Nextree), aprovado pela equipe do LGV-Embrapa em 2009 junto à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), em um edital conjunto com o CNPq, voltado para a consolidação de núcleos de excelência (Pronex). Com base neste projeto e com os trabalhos de simulação (Grattapaglia; Resende, 2011) e resultados experimentais promissores sobre o potencial de seleção genômica para *Eucalyptus* (Resende et al., 2012), em meados de 2012 a equipe do LGV-Embrapa lançou uma iniciativa de desenvolvimento de um chip de genotipagem em larga escala para poder efetivamente tornar a seleção genômica uma realidade para o setor florestal brasileiro. A experiência e reputação do LGV-Embrapa adquiridas ao longo do Projeto Genolyptus em trabalhar com a empresas de base florestal no País foi fundamental para viabilizar mais esta iniciativa.

Um convite informal foi feito a todas as empresas de base florestal no país para participarem desta iniciativa com base em algumas premissas. A primeira delas era o fato que a operacionalização da seleção genômica na rotina de uma empresa florestal demandava uma tecnologia de genotipagem avançada, rápida, robusta, de uso simples

e flexível, e a mais econômica possível. A segunda premissa era que a tecnologia deveria permitir genotipar milhares de amostras para milhares ou dezenas de milhares de marcadores, com custos reduzidos, com elevada reprodutibilidade, sem demandar infraestrutura ou pessoal altamente especializado em bioinformática ou genômica. A seleção genômica muito mais do que uma biotecnologia, deveria ser vista como um novo método de melhoramento que se caracteriza por utilizar dados genéticos de marcadores moleculares. A terceira premissa era que o custo inicial de descoberta e seleção dos SNPs para a construção de chip de alta densidade tinha baixado consideravelmente e representava um investimento viável. Por outro lado a efetiva construção inicial do chip tinha um custo inversamente proporcional à escala de produção de chips para uso posterior. Ou seja, quanto maior o número de chips encomendados ao fabricante, menor se tornava o preço individual. Isso fez com que o desenvolvimento de chips de SNPs para plantas cultivadas como o milho, soja e animais domésticos como bovinos e suínos fosse realizado via projetos colaborativos entre diversas instituições públicas e privadas interessadas no melhoramento genético e genômica da espécie alvo.

O projeto de desenvolvimento do chip de SNPs para *Eucalyptus*, batizado de EUChip60K foi idealizado e executado em um modelo inovador, semelhante ao sistema de financiamento de interesse coletivo (*crowdfunding*) que consiste na obtenção de capital para iniciativas de interesse coletivo mediante agregação de múltiplas fontes de financiamento. Neste tipo de iniciativa é geralmente estipulada uma meta de arrecadação que deve ser atingida para que o projeto seja viabilizado. Para fabricar o chip e disponibilizá-lo a um custo accessível, foi negociado com a empresa americana Neogen (na época Geneseek), a maior e mais competitiva empresa de genotipagem na área agropecuária mundial, o compromisso de genotipar pelo menos 15 mil amostras de DNA. Nem a Embrapa ou nenhuma empresa florestal individualmente poderia ou estaria disposta a pagar por 15 mil amostras ao custo de 60 dólares, o que somava um compromisso de 900 mil dólares. A Embrapa, também interessada em utilizar o EUChip60K para seus programas de melhoramento e caracterização de germoplasma de *Eucalyptus,* entraria com alguns recursos do Projeto Nextree, para o trabalho de descoberta e seleção de SNPs e o trabalho da equipe técnica do seu LGV. Para as empresas a proposta colocada foi que cada empresa participasse com o compromisso de genotipar pelo menos 1.000 amostras do seu próprio material genético. Para estimular as empresas a participarem foi concedido a empresa participante um desconto e a oportunidade de pagar apenas 51 dólares nas amostras subsequentes. Foi obtida uma ampla adesão de mais de dez empresas que permitiu não apenas tornar o EUChip60K uma realidade, mas também iniciou a integração do uso da informação genômica de SNPs, em larga escala nos programas de melhoramento genético de várias empresas brasileiras e da Embrapa, tornando o Brasil, mais uma vez, pioneiro em uma nova vertente de inovação tecnológica na área florestal.

Para o desenvolvimento do chip, o primeiro passo do projeto explorou as novas tecnologias de sequenciamento NGS no sentido de gerar uma extensa base de dados para a descoberta de SNPs, aprendizado obtido com projetos anteriores. Foi, então, realizado um trabalho inédito de resequenciamento do genoma inteiro (*whole genome resequencing*) de 240 árvores de 12 espécies de eucalipto, incluindo as chamadas *big nine* mais plantadas no mundo - *E. grandis, E. urophylla, E. globulus, E. pellita, E. camaldulensis, E. tereticornis, E. saligna, E. nitens, E. dunnii* - além de *E. pilularis, E. benthamii, E. cloeziana e Corymbia citriodora* como espécies que vêm sendo utilizadas de forma crescente em algumas regiões. Com base nesta ampla base de dados de sequências genômicas, quase 47 milhões de SNPs foram identificados dentro e entre espécies, em um trabalho inédito no Brasil de análise de dados e descoberta de variantes realizado pela equipe do laboratório de bioinformática da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. A partir dessa ampla base de dados, após diversos passos de seleção com base em métricas de análise de sequências, foram selecionados 208 mil SNPs com características adequadas para genotipagem, com a tecnologia Infinium da empresa Illumina. Destes 208 mil, 60.904 SNPs foram então utilizados para compor o EUChip60K, fornecendo uma cobertura genômica de 96% do genoma com uma distribuição regular de um SNP a cada 12 kb a 20 kb ao longo dos cromossomos, e 47 mil SNPs próximos a 30 mil dos 34 mil genes anotados no genoma do eucalipto (Figura 5). O genoma de referência de *E. grandis*, a esta altura, já havia sido finalizado e disponibilizado por meio de um projeto internacional do qual o LGV-Embrapa participava ativamente na execução e co liderança.

O EUChip60K publicado em 2015 (Silva-Junior et al., 2015) foi o primeiro chip desenvolvido deliberadamente para atender a múltiplas espécies de um mesmo gênero de plantas. Além dos aspectos operacionais do chip, os dados levantados de milhares de SNPs compartilhados entre as diferentes espécies revelaram a existência de SNPs ancestrais surgidos antes da separação das espécies de *Eucalyptus*, sugerindo uma radiação recente do gênero. O EUChip60K representou uma contribuição significativa da Embrapa para a comunidade internacional, mais uma vez em parceria com o setor florestal privado nacional. O EUChip60K foi o primeiro sistema de genotipagem de alto desempenho para uma espécie florestal, colocando o eucalipto em condições equivalentes às grandes culturas agrícolas tais como milho e a soja, no que se refere ao potencial de avançar no estudo da genômica populacional, seleção genômica e estudos de associação. A possibilidade de genotipar espécies de eucalipto plantadas nos vários países de clima tropical e temperado em uma plataforma comum, e o fato do EUChip60K ter sido desenvolvido no conceito *open access*, ou seja, não patenteado e disponível para todos os interessados, tem promovido o intercâmbio de dados e ampliado o conhecimento científico. Vários estudos vêm sendo publicados por diversos grupos no mundo utilizando o EUChip60K, revisados recentemente (Grattapaglia et al., 2018).

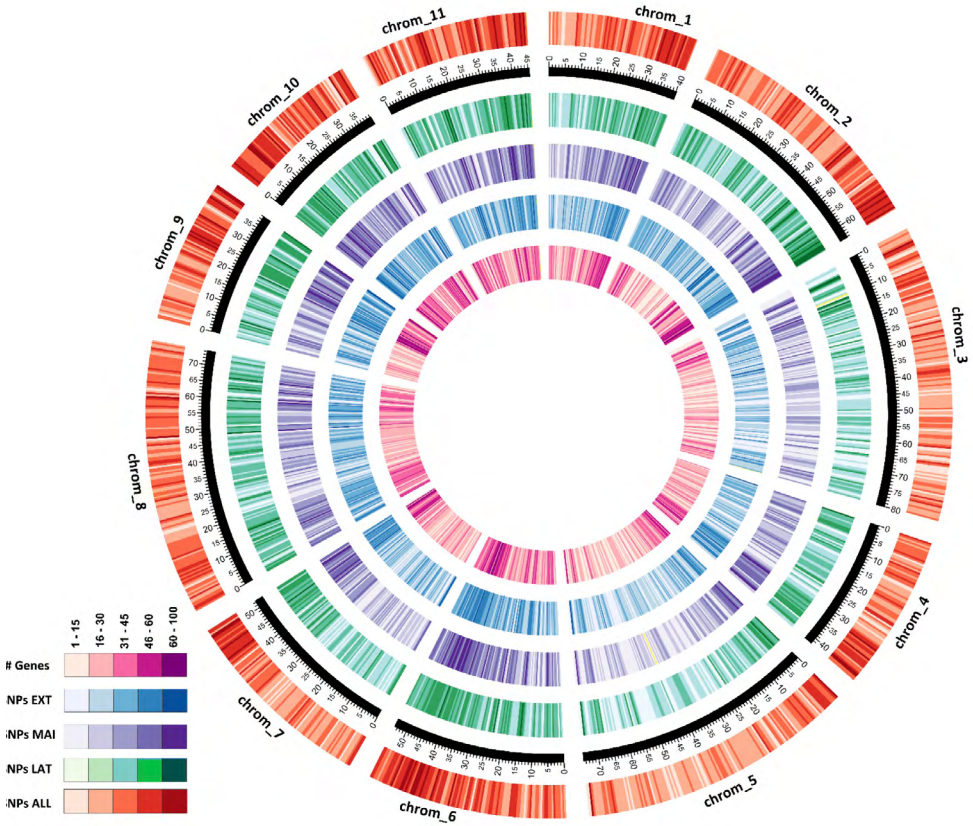


Figura 5. Mapa de calor da distribuição de densidade dos 51.204 SNPs polimórficos posicionados ao longo dos 11 cromossomos do genoma de *Eucalyptus* em intervalos de uma megabase (10^6 pares de bases), nas três principais seções do subgênero *Symphyomyrtus* (LAT Latoangulatae; MAI Maidenaria; EXT Exsertaria) e no consolidado de indivíduos das 14 espécies contempladas, com a densidade correspondente de modelos gênicos no genoma de referência de *Eucalyptus grandis*. Figura reproduzida com permissão (Silva-Junior et al., 2015).

O genoma do eucalipto: a Embrapa coidera a iniciativa mundial de sequenciamento

A iniciativa de produzir uma sequência do genoma completo do eucalipto foi discutida tecnicamente pela primeira vez em um encontro na cidade de Hobart na Austrália em 2004 da qual o LGV-Embrapa participou. Na época os grupos de pesquisa naquele país convidaram representantes dos principais grupos no mundo trabalhando com a genômica do eucalipto, para discutir os aspectos técnicos de como empreender este projeto ambicioso, considerando que o eucalipto é uma planta icônica e uma importante contribuição da Austrália para o mundo. Existia interesse de uma

ala do governo da Austrália em apoiar este projeto. Infelizmente o partido que havia sinalizado o apoio acabou saindo do poder nas eleições parlamentares fazendo com que o projeto não acontecesse. A ideia foi retomada em 2005 durante a conferência *IUFRO Tree Biotechnology* em Pretoria, África do Sul, do qual participaram ativamente vários pesquisadores na época trabalhando no Projeto Genolyptus. Um plano foi formatado para a formação da Rede Internacional Eucagen - Eucalyptus Genome Network, visando a submissão de uma proposta para competir na chamada pública anual que o centro de sequenciamento Joint Genome Institute (JGI) do Departamento de Energia do EUA lançava, visando apoiar projetos de interesse científico mundial que demandassem grande capacidade de sequenciamento de DNA. Após debate sobre qual deveria ser a espécie de eucalipto a ter seu genoma sequenciado, se *E. globulus*, de interesse de países como Austrália, Chile e Portugal ou *E. grandis*, de interesse do Brasil, África do Sul e demais países tropicais, foi decidido que a árvore a ser sequenciada seria da espécie *Eucalyptus grandis*. Isto ocorreu não só em função da forte participação de pesquisadores daqueles dois países na coordenação da proposta, mas principalmente em vista das várias contribuições técnicas que o Projeto Genolyptus faria em termos de bases de dados de genes sequenciados, mapas genéticos e bibliotecas de fragmentos longos de DNA para sequenciamento Bacterial Artificial Chromosomes (BAC). Além destas importantes contribuições feitas através do Genolyptus, a escolha de *E. grandis* foi, por fim, alavancada pela disponibilização, por parte da empresa brasileira Suzano Celulose, de uma árvore adulta, denominada Brasuz1 (Brasil Suzano S_1), derivada de uma geração de autofecundação (S_1) que, pela sua maior homozigose, facilitaria consideravelmente o trabalho de bioinformática de montagem do genoma.

O interesse do JGI em apoiar projetos de sequenciamento era movido pela importância do organismo alvo para questões de sustentabilidade energética mundial, e principalmente pela dimensão, interesse e contribuições ao projeto que a comunidade científica internacional, que viria a se beneficiar do acesso à sequência do genoma completo do organismo, poderia fazer. Ao longo de 2006, o trabalho da rede Eucagen foi no sentido de listar as contribuições efetivas que cada participante poderia fazer e buscar apoio formal de vários países, organizações públicas e privadas a esta iniciativa. O Brasil, e certamente a Embrapa, pela coordenação que já existia com o Projeto Genolyptus, teve papel central neste processo. Após passar com sucesso por uma etapa de pré-propostas em Janeiro de 2007, uma proposta final foi submetida em Março de 2007, liderada pelos pesquisadores Alexander Myburg da University of Pretoria, África do Sul, Dario Grattapaglia da Embrapa e Jerry Tuskan do Oak Ridge National Laboratory do Departamento de Energia dos EUA. Cartas formais de apoio e colaboração de mais de 100 membros da rede Eucagen de cerca de 20 países foram anexadas à proposta aprovada em primeiro lugar ao competir com mais de 120 outras propostas submetidas ao JGI.

Em Janeiro de 2008 foi oficialmente iniciado o projeto de sequenciamento com a entrega das amostras de DNA e RNA realizada pessoalmente pela equipe da Embrapa à coordenação do projeto no JGI. Sendo o JGI uma instituição financiada por recursos públicos, por obrigação de mandato, todos os dados de sequenciamento são públicos e foram, portanto, sendo depositados diariamente no banco de dados GenBank pelo JGI, à medida que iam sendo produzidos. O sequenciamento do genoma do eucalipto foi realizado exclusivamente com a tecnologia Sanger. Ao mesmo tempo que o sequenciamento genômico pela abordagem "shotgun" era conduzido nos laboratórios do JGI, o sequenciamento das extremidades de cerca de 120 mil clones BAC da biblioteca fornecida pelo Genolyptus foi realizado pelo centro de sequenciamento da Stanford University, também associada ao JGI. Em 2011, uma primeira versão da montagem e anotação do genoma de *Eucalyptus grandis*, ainda com cobertura preliminar de 4,5 vezes, foi disponibilizada para o mundo pelo JGI na plataforma de dados genômicos Phytozome.com (Goodstein et al., 2012). Nesta plataforma todos os genomas de plantas sequenciados pelo JGI ou com participação direta do JGI, são depositados para acesso público. Após um intenso trabalho de análise realizado por diversos grupos internacionais participantes da rede EUCAGEN, a montagem e anotação final da sequência de genoma de *Eucalyptus grandis*, disponível para a comunidade internacional na plataforma Phytozome com tamanho total de 605,9 Mbp, foi finalmente submetida para publicação em Setembro de 2013 e publicada na prestigiosa revista *Nature* (Myburg et al., 2014) em um artigo envolvendo 55 autores de 18 países. Este foi o primeiro genoma de uma planta sequenciado com a participação do Brasil na liderança, formatação e execução do projeto.

A disponibilização pública da sequência completa do genoma de *Eucalyptus grandis* representou um importante avanço não apenas para a comunidade científica internacional, mas também para os programas operacionais de melhoramento de *Eucalyptus*. A partir de uma referência genômica accessível aos vários grupos de pesquisadores no mundo, na qual o endereço genômico específico de marcadores SNPs e genes anotados é conhecido e facilmente compartilhado, tem sido possível a geração de informações e conhecimento sobre a evolução e genômica comparativa, redes de expressão e regulação gênica e posicionamento de associações entre marcadores e fenótipos. Uma coletânea de 14 artigos científicos contribuídos pelos diversos grupos que participaram diretamente ou indiretamente da produção do genoma, explorando seus diversos aspectos foi publicada em 2015, na revista científica de impacto *New Phytologist*. Duas foram as contribuições do LGV-Embrapa nesta coleção. A primeira foi o desenvolvimento da plataforma de genotipagem de SNPs EUChip60K descrita anteriormente (Silva-Junior et al., 2015), que efetivamente revolucionou a capacidade de análise genética no gênero, permitindo a implementação de estudos de associação e seleção genômica por diversas universidades e empresas florestais em todo o mundo. Em um segundo estudo, de cunho mais fundamental, foram examinados os

padrões genômicos de recombinação, desequilíbrio de ligação e diversidade nucleotídica, por meio da genotipagem de SNPs e resequenciamento do genoma de 30 árvores de *E. grandis*. Foi construído o mapa de ligação mais denso até hoje, para espécies de *Eucalyptus* com 4.396 marcadores SNPs e revelado, pela primeira vez, que o padrão real de desequilíbrio de ligação, quando analisado no genoma todo, era bem mais extenso do que se achava, fato este com importante impacto na capacidade de realizar predição genômica à espécie. Além disso, verificou-se que a mutação, como processo evolutivo, teve papel mais importante do que a recombinação na moldagem da variabilidade genética do eucalipto. Gráficos de recombinação ancestral cromossômica permitiram estimar o tamanho efetivo e, com isso, propor uma datação molecular para o tempo até o ancestral comum mais recente de *E. grandis* estimado entre 1,7 a 4,8 milhões de anos atrás. Esta datação por sua vez forneceu uma importante contribuição molecular em nível de genoma completo para o esclarecimento da controvérsia que persistia quanto à datação da origem dos eucaliptos baseada, até então, na análise de apenas pequenos trechos de sequência de ITS e DNA de cloroplasto. A análise ampla do genoma (*genome-wide*) deu suporte para a origem mais recente do gênero, de 5 a 10 milhões de anos, consistente com registros fósseis que colocam a radiação de espécies do subgênero Symphomyrtus em 2 a 5 milhões de anos atrás, questionando a origem mais antiga proposta por alguns grupos de 26 a 38 milhões de anos. A capacidade de compartilhamento de SNPs entre espécies de *Eucalyptus* e a colinearidade genômica observada entre espécies também contribuem com evidências adicionais em suporte à hipótese de uma origem mais recente do gênero *Eucalyptus* (Silva-Junior; Grattapaglia, 2015).

Aplicações operacionais da análise genômica: a Embrapa implementa e transfere metodologias para o setor florestal

Ao longo dos últimos 25 anos a Embrapa fez importantes contribuições não apenas em nível nacional, mas também internacional, demonstrando eficiência do uso de marcadores moleculares na resolução de questões de quantificação de variabilidade de populações de melhoramento, determinação de identidade clonal e investigação de parentesco. Vários tipos de marcadores foram utilizados para isso, ao longo dos anos. Embora marcadores RAPD e AFLP forneceram inicialmente um poder razoável de discriminação, o seu modo de herança dominante não era adequado para a determinação inequívoca de identidade entre indivíduos e para investigações mais refinadas de relacionamento genético em populações. Com o desenvolvimento pioneiro de marcadores microssatélites codominantes, com maior conteúdo informativo e elevada

reprodutibilidade realizado pela Embrapa a partir de 1996, marcadores dominantes foram logo abandonados. Conjuntos de dezenas de marcadores microssatélites são hoje utilizados em rotina para estas aplicações por serem accessíveis, em termos de necessidade de equipamento, apresentarem baixo custo, ter elevada capacidade de discriminação e fornecerem resultados em poucos dias.

A partir de 2013, com o desenvolvimento da plataforma de genotipagem de SNPs, uma ferramenta adicional se tornou disponível, fornecendo um número consideravelmente maior de marcadores para aplicações que demandam uma análise mais ampla do genoma, como, por exemplo estudos de associação e seleção genômica. Embora marcadores SNPs possam vir a substituir microssatélites, SNPs ainda demandam equipamentos mais caros e sofisticados, a análise demanda um mínimo de amostras analisadas de cada vez que, em geral, é de um mínimo de 24 a 384. Além disso, como a geração de dados é realizada no exterior, a entrega de resultados leva algumas semanas. A perspectiva, portanto, é que ambos os tipos de marcadores, microssatélites e SNPs continuem convivendo, ambos muito úteis, dependendo da aplicação desejada e do prazo com o qual se pretende receber os resultados. A seguir são brevemente detalhadas algumas das principais aplicações operacionais de marcadores moleculares em programas de análise populacional e melhoramento de eucalipto, especificamente destacando as contribuições do LGV-Embrapa e suas colaborações internacionais. Para um maior aprofundamento neste tema algumas referências são sugeridas (Grattapaglia, 2000; Grattapaglia; Kirst, 2008; Grattapaglia et al., 2012).

Identificação de clones de eucalipto

A identificação correta de árvores, seja clones usados em plantios operacionais ou genitores em pomares de sementes, é, no momento, a aplicação de marcadores moleculares mais comum. Marcadores são rotineiramente utilizados por diversas empresas em todo o mundo, como parte de seus programas de controle de qualidade de processos de propagação, principalmente quando estes são terceirizados. A certificação genética do material propagado é um aspecto crucial das grandes operações de plantios clonais, principalmente em sistemas verticalmente integrados de produção, nos quais é feito um planejamento detalhado de utilização de matéria-prima por parte das fábricas, com base na disponibilização de determinados clones ou famílias com determinadas propriedades químicas e físicas da madeira. Dada à escala destas operações que, frequentemente, têm por desafio alimentar os programas anuais de plantio com milhões de mudas de diferentes clones, erros de identificação podem afetar seriamente a produtividade prevista. A identidade clonal correta também tem implicações importantes em programas de produção de sementes em pomares ou via polinizações controladas. Erros podem vir a impactar negativamente os ganhos esperados em cada ciclo de melhoramento.

Da mesma forma que na análise forense de seres humanos e animais domésticos, hoje o método-padrão para a identificação de clones de *Eucalyptus* se baseia na utilização de microssatélites em sistemas multiplex de coamplificação de 10 a 20 marcadores analisados em sequenciador automático, que permite alta resolução e reprodutibilidade dos dados genéticos (Faria et al., 2011a). A identidade de duas amostras geneticamente indistinguíveis é declarada com base em uma verossimilhança na qual a probabilidade de se observar os dados genéticos, condicional à hipótese das duas amostras serem oriundas do mesmo clone, é comparada à hipótese alternativa, ou seja, de que as duas amostras são oriundas de clones diferentes. Além disso, a reprodutibilidade e precisão da declaração dos genótipos permite a comparação precisa de resultados entre laboratórios e épocas diferentes de análise. O elevado polimorfismo de microssatélites em *Eucalyptus* foi logo demonstrado ao permitir a discriminação de 192 indivíduos de uma população de melhoramento de *E. grandis,* utilizando apenas três marcadores. A probabilidade de dois indivíduos geneticamente distintos terem o mesmo genótipo multiloco em seis microssatélites, devido simplesmente ao acaso, foi menor que 1 em 2 bilhões (Kirst et al., 2005). Estudos posteriores otimizaram sistemas de análise mais potentes com 10 a 20 microssatélites incluindo marcadores baseados em tri e tetranucleotídeos utilizados atualmente em rotina de análise (Faria et al., 2011a). Marcadores SNPs também podem ser utilizados com sucesso para a geração de perfis genéticos individuais visando análises de identidade e parentesco com a vantagem adicional de maior precisão na declaração de genótipos, uma vez que este procedimento é totalmente automatizado e menos sujeito a variações de condições de eletroforese que podem impactar a análise com microssatélites (Telfer et al., 2015). Entretanto, tendo em vista o bialelismo do SNP e consequente menor conteúdo informativo, estudos mostraram que são necessários cerca de sete vezes mais marcadores SNPs do que microssatélites, para alcançar o mesmo poder de discriminação em *Eucalyptus* (Correia et al., 2011). Apesar do menor conteúdo de informação de cada SNP individualmente, a utilização de painéis de algumas dezenas de SNPs selecionados para elevado polimorfismo tornar-se-á uma alternativa cada vez mais atraente para aplicação operacional em programas de melhoramento.

Proteção varietal de clones de eucalipto

Material genético na forma de clones elite representa hoje um ativo essencial para a manutenção e o crescimento da competitividade de uma indústria de base florestal. Parece evidente, portanto, que a proteção legal contra a potencial utilização e/ou comercialização indevida por terceiros é um aspecto preventivo importante que não pode ser ignorado por um setor que obteve e continuará a obter ganhos extraordinários com base na genética e no melhoramento. A identificação correta de clones de eucalipto tem implicações importantes no intercâmbio e licenciamento de

clones e execução de contratos de terceirização de produção de mudas. No Brasil, a lei de proteção de cultivares nº 9.456, sancionada em 1997, representou um importante avanço no sentido de proteger e estimular o contínuo desenvolvimento de materiais genéticos superiores de culturas agrícolas, frutíferas e florestais. A Embrapa liderou ativamente a compilação e validação das instruções para a execução dos ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE) de cultivares de eucalipto, por meio da instrução normativa publicada em fevereiro de 2002 pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Espécies do gênero *Eucalyptus* foram as primeiras espécies florestais incluídas na lista daquelas cujos cultivares passaram a ser protegidos.

A proteção de clones superiores de eucalipto envolve hoje a utilização de um conjunto selecionado e validado de 36 marcadores morfológicos, principalmente em folhas, flores e casca. Esses descritores foram selecionados por atender aos requisitos básicos de estabilidade e pouca influência ambiental. Entretanto, além das dificuldades de caracterização morfológica, às vezes encontradas em razão da mudança de fase fisiológica entre o estado juvenil e o adulto, clones elite de eucalipto muitas vezes apresentam coancestralidade. É comum, por exemplo, que clones elite sejam selecionados dentro da mesma família de irmãos completos ou meios-irmãos. A baixa variabilidade observada em características morfológicas dificulta, assim, a clara distinção entre os indivíduos, tornando-se necessária a utilização de outros descritores de maior poder de resolução.

Em vista das potenciais limitações inerentes ao processo de descrição morfológica, já na instrução normativa que regulamentou a proteção de cultivares de eucalipto, marcadores moleculares microssatélites foram incluídos como descritores complementares facultativos (Grattapaglia et al., 2003). Isso representou um avanço importante no panorama mundial da proteção varietal de espécies florestais perenes. Interessante observar que, apesar de serem apenas facultativos, perfis genéticos de 10 a 15 marcadores microssatélites têm sido rotineiramente incluídos nos pedidos de proteção e registro de clones de eucalipto no Brasil por diversas empresas. Isso se deve, por um lado, à percepção que os melhoristas têm do valor de um clone-elite para o negócio florestal e, por outro, à posição inovadora que o Brasil ocupa internacionalmente na pesquisa e desenvolvimento em genética, melhoramento e análise molecular do eucalipto. A perspectiva para os próximos anos deverá ser, portanto, de um aumento significativo na solicitação de proteção de clones superiores por parte das várias empresas florestais. Isso, sem dúvida, poderá contribuir para a melhor organização e documentação do material genético proprietário existente no país e facilitar contratos de intercâmbio de clones entre os programas de melhoramento e produção das indústrias. Embora refinamentos adicionais nos procedimentos de seleção e utilização de marcadores sejam feitos continuamente, o Brasil, por meio do trabalho da Embrapa já está hoje na vanguarda da utilização desta tecnologia genômica à proteção de variedades florestais.

Caracterização de coleções de germoplasma e populações de melhoramento

Espécies de eucalipto, em geral, encontram-se em estágio de melhoramento em comparação à maioria das culturas agrícolas. Existe ainda ampla flexibilidade sobre quais materiais genéticos incluir nas populações de melhoramento que, em regra geral, são constituídas por dezenas ou centenas de árvores geneticamente não-relacionadas, selecionadas diretamente de populações naturais, testes de procedência/progênie ou mesmo clones elite utilizados comercialmente. Marcadores moleculares têm sido utilizados nessas etapas iniciais dos programas para caracterizar e quantificar os níveis e a organização da variabilidade genética existente como recentemente demonstrado em estudos com *E. urophylla* e *E. pilularis* (Silva et al., 2015, 2018). Esses dados podem ser utilizados para melhorar a estrutura das populações de melhoramento, para infundir material novo em populações e decidir sobre a seleção, o enriquecimento ou a eliminação de indivíduos.

A redução de variabilidade genética em populações de melhoramento é essencialmente o resultado da seleção direcional, aliada ao incremento da endogamia, devido a cruzamentos aparentados e deriva genética. A restrição da contribuição genética de uma mesma família para a população selecionada, i.e., número de indivíduos selecionados por família, promove a manutenção da variabilidade, mas, por outro lado, tipicamente reduz o ganho genético potencial. A restrição do número de famílias pode aumentar o ganho, porém reduz a variabilidade genética. Em sistemas de *pedigree* incompleto, frequentemente usados na forma de famílias de meios-irmãos para avançar gerações de melhoramento de espécies florestais, um sistema de monitoramento genético baseado em marcadores para acompanhar os níveis de variabilidade genética ao longo dos diferentes ciclos de um programa de melhoramento é particularmente útil, uma vez que permite flexibilidade maior durante o processo de seleção e auxilia no controle da taxa de incremento da endogamia. É importante lembrar, entretanto, que a informação fornecida pela análise de um conjunto de marcadores moleculares anônimos, independentemente do tipo utilizado, se restringe à caracterização dos aspectos de ancestralidade, heterozigosidade observada e divergência ou distância genômica entre as árvores. Não existe, a princípio, qualquer correlação entre a informação fornecida e o potencial desempenho dos indivíduos ou seus descendentes para características de importância silvicultural ou econômica, como muitas vezes equivocadamente se espera, a menos que um delineamento experimental específico em termos de estrutura populacional e uma densidade de marcadores elevada sejam utilizados conforme descrito mais à frente na seção sobre seleção genômica. Isso ocorre, pois, dados experimentais que vêm sendo levantados têm mostrado que as regiões genômicas envolvidas no controle de características quantitativas, além de serem da ordem de centenas ou mesmo milhares, cada uma delas contribuindo com

efeito muito pequeno, são distribuídas por todo o genoma e potencialmente com forte interação com o ambiente.

Determinação precisa de parentesco e estudos de fluxo gênico

O conhecimento das taxas de fecundação cruzada *versus* autofecundação é essencial para a manutenção de níveis adequados de variabilidade genética nas populações para ganhos contínuos, bem como para fundamentar corretamente as estimativas de parâmetros genéticos em testes de progênie de polinização aberta. Marcadores isoenzimáticos foram originalmente utilizados para estimar o sistema preferencial de cruzamento dentro de populações ou pomares de semente, logo substituídos por marcadores de DNA dominantes na década de noventa (Gaiotto et al., 1997; Gaiotto; Grattapaglia, 1997) e hoje por marcadores microssatélites que permitem análises mais refinadas e precisas de parentesco e fluxo gênico. Microssatélites vêm sendo utilizados rotineiramente por diversas empresas florestais para controle de qualidade do parentesco de descendentes em programas de polinização controlada (Telfer et al., 2015), confirmar eventos de autofecundação em projetos de desenvolvimento de linhagens, estimar o fluxo gênico de pólen externo contaminante em um pomar, bem como detectar eventos de fluxo gênico a distância. Marcadores microssatélites foram utilizados com sucesso para estudar o fluxo de pólen e sucesso reprodutivo em povoamentos clonais fragmentados de eucalipto, mostrando que a polinização ocorre predominantemente até distâncias de menos de 200 m., compatível com o vôo de abelhas polinizadoras, embora níveis baixos de sucesso de polinização sejam esperados em distâncias maiores (Silva et al., 2015). Em um estudo subsequente marcadores microssatélites permitiram verificar que a maior taxa de fluxo de pólen a partir de árvores geneticamente modificadas (GM) de eucalipto ocorre a distâncias curtas de até 15 metros, diminuindo rapidamente até a maior distância avaliada de 650 m., semelhante ao observado em estudos de fluxo de pólen de eucalipto não-GM, fornecendo uma informação importante na definição de estratégias de biossegurança para contenção de fluxo transgênico mediado por pólen (Silva et al., 2017).

A determinação precisa de paternidade de árvores utilizando marcadores moleculares pode também ser utilizada como uma estratégia de seleção retrospectiva de genitores de maior capacidade geral ou específica de combinação, visando melhorar o desempenho médio dos plantios derivados de um pomar de sementes. Marcadores microssatélites permitem identificar exatamente quais foram os genitores de um pomar que geraram maior número de descendentes geneticamente superiores e, com base nisso eliminar genitores menos interessantes de um pomar, ou realizar cruzamentos controlados entre os genitores que apresentaram melhor capacidade específica de combinação. Esta estratégia de utilizar análise de parentesco no melhoramento foi originalmente proposta e utilizada em *Eucalyptus* (Grattapaglia et al., 2004) e

mais tarde ampliada para uma abordagem denominada *breeding without breeding* que incluiu a estimativa de parâmetros genéticos com base no relacionamento genético entre indivíduos determinado pelos marcadores moleculares (El-Kassaby; Lstiburek, 2009). O sucesso dessa abordagem depende, entretanto, do número total de genitores envolvidos na análise e do grau de relacionamento genético entre eles. Quanto maior o número de genitores, e quanto maior o relacionamento entre eles, maior o número de marcadores necessários para se declarar categoricamente o parentesco correto. Com o advento da possibilidade de genotipar milhares de marcadores SNPs em eucalipto, hoje é possível reconstruir parentesco com alta precisão mesmo envolvendo um grande número de genitores potenciais. Esta abordagem de reconstrução de parentesco por meio da geração de uma matriz de relacionamento genômico Genomic Relationship Matrix (GRM) com base em marcadores SNPs efetivamente estimando o parentesco realizado entre indivíduos tem sido cada vez mais utilizada em programas avançados de melhoramento de eucalipto por algumas empresas no Brasil (Resende et al., 2017; Tan et al., 2018; Lima et al., 2019). O uso de GRM em substituição à matriz de relacionamento esperado também chamada de matriz do numerador do coeficiente de parentesco, permite desemaranhar as variâncias aditivas das não-aditivas com precisão e assim obter estimativas mais fidedignas de parâmetros genéticos tais como herdabilidade e contribuições relativas das duas classes de variâncias genéticas (Grattapaglia et al., 2018).

A Embrapa transita do mapeamento genético para a Seleção Genômica de eucalipto

Neste tópico são apresentadas as contribuições do LGV-Embrapa visando aplicações tecnicamente mais complexas, ao tentar conectar a variação de sequência no DNA com a variação de características quantitativas de interesse florestal, por meio de mapeamento de Quantitative Trait Loci (QTLs), mapeamento de associação e, nos últimos dez anos, com a predição e seleção genômica. O intuito deste esforço é o de auxiliar diretamente a seleção mais rápida e precisa de árvores superiores em programas de melhoramento. O melhoramento genético de eucalipto envolve ciclos recorrentes de seleção, cruzamento e testes para obter sementes geneticamente melhoradas ou material clonal-elite, maximizando o ganho genético por unidade de tempo ao menor custo possível. Tendo em vista os ciclos relativamente longos de vida e florescimento tardio do eucalipto, o progresso e o sucesso de um programa de melhoramento são fortemente dependentes do tempo necessário para completar uma geração. No início dos anos 90, quando as tecnologias de análise genômica se tornaram mais acessíveis, a Seleção Assistida por Marcadores (SAM) foi imediatamente vista como uma

ferramenta potencialmente poderosa para superar alguns destes desafios (Grattapaglia et al., 1992). No entanto, o potencial da SAM no melhoramento florestal foi questionado com base no estado de equilíbrio de ligação, na qual se encontraria uma população de melhoramento grande com histórico recente de domesticação. Além disso, questões relativas à estabilidade da expressão dos locos controladores de características quantitativas (QTLs) ao longo do tempo, em diferentes locais e em diferentes backgrounds genéticos, seria um forte impedimento (Strauss et al., 1992).

Mapeamento de QTLs e mapeamento de associação

Apesar destes argumentos iniciais bem fundamentados, que mais tarde se provaram corretos em grande parte, vários trabalhos de construção de mapas genéticos e mapeamento de QTL foram realizados em espécies de *Eucalyptus*, revisados em (Grattapaglia et al., 2012). A premissa nesta fase inicial da pesquisa genômica, também adotada no Projeto Genolyptus, foi a que, pela abordagem de dissecação genética, seria possível mapear e estimar os efeitos de todos os genes ou QTLs relevantes para características como crescimento e qualidade da madeira durante a vida da árvore, em todas as populações e ambientes (Grattapaglia, 2004; Grattapaglia; Kirst, 2008). Diversos estudos descrevendo mapeamento de QTLs em espécies de *Eucalyptus* foram relatados utilizando uma ou mais populações biparentais envolvendo o cruzamento entre genitores heterozigotos e análise na configuração pseudo-cruzamento teste (Grattapaglia; Sederoff, 1994). No âmbito do Projeto Genolyptus, QTLs para características de crescimento, qualidade da madeira e tolerância a doenças foram mapeados em diferentes famílias biparentais. Um importante foco deste trabalho foi desenvolvido em forte colaboração com a equipe da Universidade Federal de Viçosa visando a resistência a doenças que apresentavam uma herança aparentemente menos complexa e, portanto, mais propensas à identificação de locos de maior efeito, além da relevância crescente de doenças do ponto de vista silvicultural. O primeiro QTL de grande efeito mapeado em *Eucalyptus* foi na espécies *E. grandis* para resistência à ferrugem do eucalipto causada por *Puccinia psidii* (Junghans et al., 2003), mais tarde complementado por estudos de validação do QTL em diferentes pedigrees (Mamani et al., 2010) e identificação de interação entre QTLs (Alves et al., 2012). A estes trabalhos seguiram-se outros semelhantes localizando QTLs em *Eucalyptus* para resistência à desfolha causada por *Cylidrocladium pteridis* (Zarpelon et al., 2011), mancha-de- Colonectria causada por *Calonectria pteridis* (Zarpelon et al., 2015) e murcha de Ceratocystis causada por *Ceratocystis fimbriata* (Rosado et al., 2016).

Diversos experimentos de mapeamento de QTLs para características de crescimento e qualidade da madeira também foram realizados ao longo do Projeto Genolyptus, os quais somente foram publicadas no âmbito de teses de mestrado com exceção de um estudo que localizou um loco envolvido em florescimento precoce

(Missiaggia et al., 2005). Tentativas de transferência da informação de posicionamento de QTLs gerada em uma família biparental para uma outra família, para a prática da seleção assistida não mostraram, entretanto, o sucesso esperado.. Além disso, verificou-se que a magnitude do efeito estimado de um QTL, além de superestimado, variava de acordo com o desenho experimental, background genético e ambiente. Estes resultados, em linha com resultados que vinham sendo publicados por outros grupos no mundo, mostraram, portanto, que as abordagens de mapeamento de QTL em famílias biparentais não seriam capazes de capturar variação genética suficiente que pudesse resultar na implementação efetiva da SAM no melhoramento genético operacional do eucalipto (Grattapaglia et al., 2009).

Como alternativa ao mapeamento genético em famílias, estudos posteriores também foram desenvolvidos para avaliar a abordagem de genética de associação em populações não estruturadas como uma forma de superar as limitações intrínsecas da SAM baseada em QTLs mapeados em famílias biparentais. Estes estudos foram inicialmente desenvolvidos com base na análise de SNPs localizados em genes candidatos, mostrando-se totalmente ineficientes do ponto de vista de utilização posterior da informação gerada, na medida que partiam de uma premissa que aqueles genes selecionados para estudo seriam de fato genes com efeito relevante na característica, premissa esta que se mostrou falsa. Com o advento de marcadores DArT e em seguida SNP que permitiram a análise em escala genômica ampla, uma série de estudos de GWAS (*Genome-Wide Association Studies*) foram realizados pelo LGV-Embrapa em colaborações com empresas florestais. Diferentes abordagens analíticas e meta-analises amplas foram utilizadas no intuito de avaliar, em detalhe, a possibilidade de detectar associações discretas entre marcadores SNPs e características complexas de crescimento e qualidade da madeira para posterior uso no melhoramento (Cappa et al., 2013; Muller et al., 2017, 2019; Resende et al., 2017). Os resultados, entretanto, mostraram que, além do número muito pequeno de associações significativas detectadas, a magnitude do efeito de cada uma delas era muito pequena, raramente excedendo 1% a 5% da variância fenotípica de forma que pouco ou nenhum impacto teria para a SAM. Estes resultados corroboraram a natureza complexa das características quantitativas de importância econômica em eucalipto, e deram suporte experimental ao modelo infinitesimal de Ronald Fisher, como sendo a melhor aproximação teórica para a arquitetura genética de características quantitativas também no eucalipto (Fisher, 1918). Com efeito, com exceção de algumas poucas características qualitativas ou monogênicas simples em culturas anuais, raros exemplos de mutações de grande efeito em espécies frutíferas e defeitos genéticos recessivos em animais domésticos, esta tem sido a conclusão geral não só para espécies florestais, mas também para a maioria, se não a totalidade, de espécies de plantas e animais para as quais se pretende utilizar a genômica no melhoramento. A menos que seja possível capturar uma grande proporção da variação genética para as características alvo, as

abordagens convencionais da genética quantitativa provavelmente continuariam a ser mais eficientes para o avanço do melhoramento. Discussões mais detalhadas deste tema são apresentadas em alguns artigos tais como os de Bernardo (2008), Goddard e Hayes (2009), Grattapaglia e Resende (2011).

Esta constatação causou uma mudança de paradigma na perspectiva de utilização da análise genômica no melhoramento de animais e plantas. Ao invés de tentar descobrir, validar e somente então utilizar as associações marcador-característica, passou-se a lidar com o agregado do efeito do genoma inteiro, da mesma forma que a genética quantitativa sempre fez, com a diferença que o efeito do genoma inteiro sobre a característica alvo é estimado com o uso de grande quantidade de marcadores moleculares distribuídos em todo o genoma. Esta revolução só foi possível com o avanço na capacidade de desenvolver e analisar simultaneamente, de forma automatizada e econômica, um grande número de marcadores SNPs. Esta abordagem foi denominada Seleção Genômica (GS) ou Seleção Genômica Ampla (SGA).

Seleção Genômica: princípios básicos

Inspirado no modelo infinitesimal de Fisher e na prática convencional da genética quantitativa, o conceito de se utilizar o efeito agregado de todo o genoma sobre a característica alvo para a prática de seleção direcional vinha sendo proposto ao final dos anos 90, quando tecnologias de genotipagem de marcadores SNPs se tornavam cada vez mais accessíveis técnica e financeiramente. Com base na genotipagem em escala genômica, viu-se que seria possível praticar a "seleção genômica total", assegurando que marcadores estariam em completa associação (ou seja, em desequilíbrio de ligação) com grande parte dos locos controladores da característica e, portanto, capturariam a maioria dos efeitos genômicos subjacentes à característica (Haley; Visscher, 1998). No entanto, foi o trabalho seminal de Meuwissen e colaboradores (Meuwissen et al., 2001) que antecipou e demonstrou por simulação que a seleção baseada em valores genéticos preditos a partir de marcadores poderia aumentar consideravelmente o ganho genético em programas de melhoramento.

Do ponto de vista conceitual, seja a SAM bem como a Seleção Genômica (SG), também chamada de Seleção Genômica Ampla (SGA) (do inglês GWS Genome-wide Selection), começam por estabelecer associações entre genótipos de marcadores moleculares discretos e fenótipos contínuos em populações relevantes. No entanto, as duas abordagens são fundamentalmente diferentes após essa etapa. A SAM normalmente tem como alvo a descoberta e caracterização de QTLs individuais em uma ou mais populações biparentais ou painéis de mapeamento de associação usando testes rigorosos de significância, com o objetivo posterior de usar tais associações para a seleção. A SG, diferentemente, usa um painel extenso de marcadores cujos efeitos no fenótipo são estimados simultaneamente numa "população de treinamento", também

chamada de "população de estimação", sem a aplicação de testes de significância, mas mantendo todos ou grande parte dos marcadores como preditores do fenótipo. Modelos matemáticos preditivos baseados no uso de todos os marcadores, capturando assim todo o efeito do genoma, são então gerados para serem aplicados posteriormente nos candidatos à seleção, para os quais apenas genótipos são coletados e os fenótipos preditos pelo modelo (Figura 6). Assim, na SG, o efeito de um marcador não precisa exceder um limiar de significância rigoroso para ser usado na fase subsequente de seleção. Além disso, os efeitos dos marcadores são estimados em uma população muito maior e mais representativa do que apenas em uma ou algumas famílias biparentais, ou em um painel de indivíduos geneticamente distintos da população de melhoramento.

A população de treinamento de um modelo preditivo envolve pelo menos várias centenas a milhares de indivíduos da população alvo do melhoramento, os quais são genotipados para o painel de marcadores e fenotipados para todas as características de interesse. Os modelos preditivos desenvolvidos para cada característica são validados em uma população de «validação», ou seja, um subconjunto de indivíduos amostrados aleatoriamente da mesma população alvo do melhoramento, mas que não participaram da estimativa dos efeitos dos marcadores. Uma vez que um modelo preditivo fornece uma capacidade preditiva satisfatória, ou seja, uma boa correlação entre os valores genéticos observados e os valores preditos pelo modelo, ele pode ser utilizado na fase de seleção para estimar os valores genéticos genômicos dos candidatos à seleção.

A SG explora tanto o desequilíbrio de ligação entre marcadores e QTLs, bem como o relacionamento genético entre os indivíduos da população de treinamento e os candidatos à seleção. Por evitar a seleção a priori de QTLs, ou seja, dos marcadores que estão associados com a característica, e estimando os efeitos de todos os marcadores em uma população grande e representativa, a SG tende a capturar grande parte da variância genética resultante do efeito combinado do grande número de locos em todo o genoma, consistente com a filosofia do modelo infinitesimal. A SG se tornou, assim, o paradigma para a seleção assistida em plantas e animais e é hoje a tecnologia padrão utilizada amplamente para o melhoramento avançado de bovinos leiteiros e outras espécies animais, como suínos e frangos (Van Eenennaam et al., 2014). Enquanto a SG vinha sendo rapidamente adotada no melhoramento animal a partir de 2006, ela também se tornou um tópico de interesse no melhoramento de culturas anuais (Bernardo; Yu, 2007; Heffner et al., 2009; Lin et al., 2014; Crossa et al., 2017) e espécies florestais para as quais as contribuições teóricas e experimentais da Embrapa foram reconhecidamente as pioneiras em nível mundial (Resende et al., 2008; Grattapaglia et al., 2009; Grattapaglia; Resende, 2011; Resende et al., 2012; Grattapaglia, 2017).

O sucesso da SG depende de vários fatores, incluindo os aspectos teóricos fundamentais previstos pela genética de populações e genética quantitativa, e os aspectos

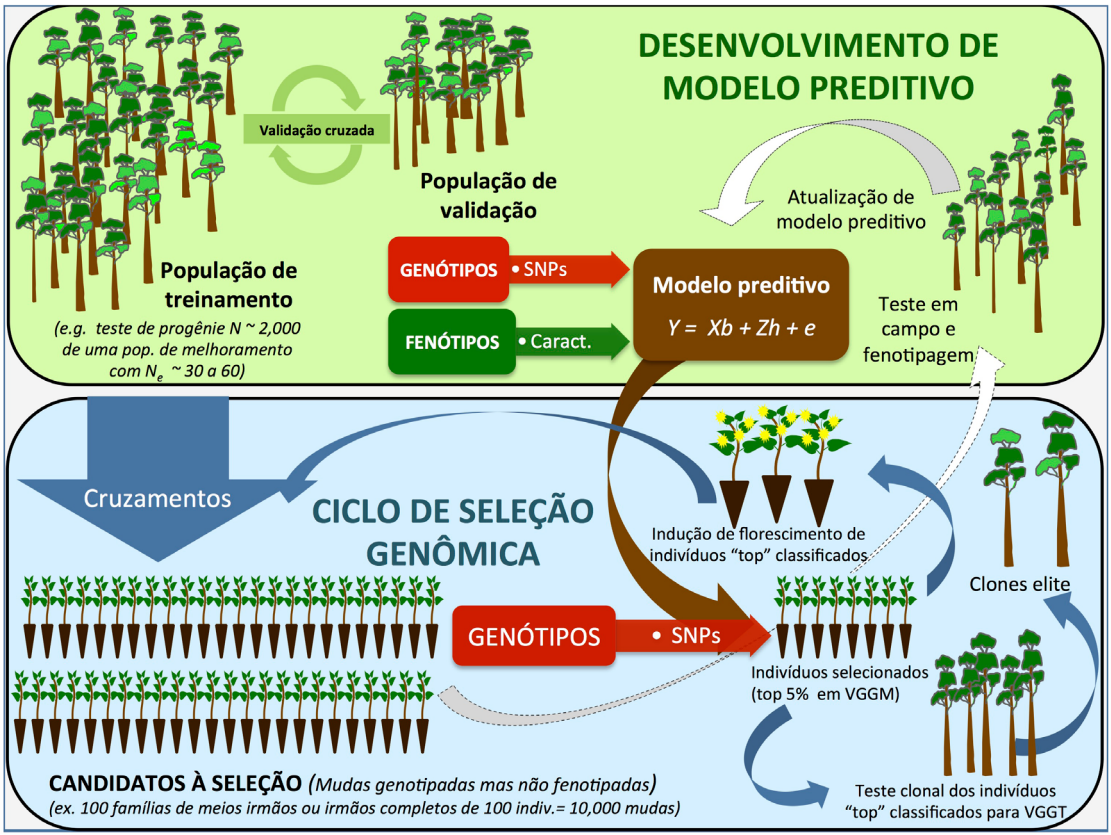


Figura 6. Etapas envolvidas na implementação da Seleção Genômica em um programa de melhoramento de *Eucalyptus*. O painel superior ilustra o desenvolvimento e validação do modelo de predição genômica a partir de uma população de treinamento de ~2.000 indivíduos, genotipada e fenotipada a partir de um teste de progênie com tamanho efetivo N_e entre 30 e 60. O painel inferior ilustra o ciclo da efetiva aplicação da Seleção Genômica começando com a geração do candidatos à seleção a partir da recombinação da própria população de treinamento ou de genitores selecionados dela. Os candidatos à seleção, no estágio de muda jovem, correspondendo a descendentes de famílias de meios-irmãos ou irmãos completos, são genotipados aos SNPs utilizados no modelo e têm seus valores genéticos genômicos de melhoramento (VGGM) e valores genéticos genômicos totais (VGGT) estimados com base nos seus genótipos usando os modelos preditivos desenvolvidos na etapa anterior. Os indivíduos melhor classificados para VGGM são submetidas à indução de florescimento e cruzados para produzir a próxima geração de melhoramento. Os indivíduos melhor classificados para VGGT são clonados e levados a testes clonais de verificação em campo, resultando, mais à frente, em clones recomendados para plantio operacional. As setas brancas pontilhadas indicam a ação de atualização do modelo preditivo, no qual um subgrupo de candidatos é plantado em delineamento experimental e fenotipado até a idade de rotação para fornecer dados adicionais para atualização continua do modelo preditivo de seleção genômica à medida que gerações avançam. Figura adaptada reproduzida com permissão (Grattapaglia, 2017).

mais práticos e logísticos da alocação de recursos e análise de custo-benefício. Foge à dimensão deste capítulo uma discussão mais ampla sobre os principais fatores nestas duas áreas, lembrando que eles são interligados e interdependentes. A acurácia de um modelo de predição genômica, ou seja, a correlação entre o valor genômico predito e o valor fenotípico é, sem dúvida, o fator chave que terá o maior impacto no sucesso da SG. Quatro são os fatores fundamentais do ponto de vista de genética de populações e quantitativa que afetam a acurácia da predição genômica (Hayes et al., 2009):

- O tamanho efetivo da população (N_e), (isto é, o tamanho de uma população teórica que geraria a mesma quantidade de deriva genética observada na população real sob consideração) e a densidade de genotipagem que, por sua vez, determina a extensão do DL entre marcadores e QTLs. Quanto menor o tamanho efetivo e maior a densidade de marcadores, maior será a extensão do DL e maior será a acurácia preditiva.
- O tamanho e a representatividade da população de treinamento, isto é, o número de indivíduos com fenótipos e genótipos a partir dos quais os efeitos dos marcadores são estimados e o relacionamento desta com os candidatos à seleção. Quanto maior e mais representativa for a população de treinamento e quanto maior o relacionamento desta com os candidatos à seleção, maior será a acurácia.
- A herdabilidade da característica em questão. Quanto maior a herdabilidade, maior será a acurácia. Cabe destacar aqui que, por outro lado, a SG se torna cada vez mais interessante e útil quanto menor a herdabilidade da característica, posto que para características de alta herdabilidade, a vantagem relativa do uso de marcadores moleculares se torna menor, com exceção de características que, mesmo altamente herdáveis, possuem expressão tardia ou mensuração complexa ou cara.
- A arquitetura genética da característica alvo, ou seja, a distribuição dos efeitos do QTL (número de locos envolvidos e o tamanho do seus efeitos). Quanto menos poligênica for a característica ou quanto maior for o número de locos envolvidos com grande efeito, maior será a acurácia.

Do ponto de vista dos aspectos práticos e da relação de custo/benefício no melhoramento, alguns dos fatores mais relevantes que afetam as perspectivas da SG incluem: (1) o tamanho, composição e esforço de fenotipagem dedicado à população de treinamento; (2) a plataforma de genotipagem empregada, incluindo a qualidade dos dados resultantes, o custo envolvido e a velocidade com a qual os dados são gerados; (3) a extensão da interação genótipo por ambiente (G*A); e (4) o desempenho no longo prazo dos modelos de predição genômica, incluindo a necessidade de atualização do modelo e o efeito potencial da SG na redução da diversidade, com a aceleração dos ciclos de seleção. Um tratamento mais detalhado foge do escopo deste capítulo, mas pode ser encontrado em revisões recentes sobre a seleção genômica em espécies florestais e de plantas em geral (Isik, 2014; Lin et al., 2014; Grattapaglia, 2017).

Impacto da seleção genômica no melhoramento de *Eucalyptus*

O objetivo do melhoramento genético é maximizar a resposta à seleção por unidade de tempo. O fator tempo é extremamente relevante para o melhoramento florestal, em vista da duração longa de um ciclo de seleção e recombinação. Na expressão de ganho genético, também chamada de equação do melhorista (*breeder's equation*) ($\Delta G = i.r.s_a/L$), a intensidade de seleção (i), a acurácia de seleção (r) e o desvio padrão aditivo (s_a) impactam diretamente no ganho, enquanto o denominador é dado pelo tempo necessário para completar um ciclo de melhoramento (L) com impacto inverso. A SG pode, portanto, aumentar o ganho genético por unidade de tempo em um programa de melhoramento de duas formas. A SG permite aumentar a intensidade de seleção, pois um número maior de plantas podem ser genotipadas e seus fenótipos preditos pela SG do que o número de plantas tipicamente plantadas em testes de progênie. Isto é particularmente relevante para características caras para serem mensuradas (ex. conteúdo de lignina) ou características expressas em idade adulta (ex. densidade da madeira). No entanto, o maior impacto da SG resultará da redução radical do tempo necessário para completar um ciclo. Os fenótipos das plantas candidatas à seleção podem ser preditos em idades ultra precoces, por exemplo, quando as mudas estão com poucas semanas ainda no viveiro, em vez de esperar vários anos até as árvores expressarem os fenótipos. A acurácia da seleção (r) evidentemente também é um dos principais propulsores do ganho genético e se a SG fornecer uma acurácia maior do que a seleção fenotípica convencional, melhor. No melhoramento genético, esta acurácia é fornecida pela raiz quadrada da herdabilidade, isto é, a proporção da variância fenotípica explicada pelos componentes genéticos. Na SG, a acurácia de seleção ou capacidade preditiva, é estimada pela correlação entre o valor genético genômico predito e o valor genético observado. Quando o objetivo de melhoramento é selecionar indivíduos a serem utilizados como clones, o valor genético predito vai envolver não apenas os efeitos aditivos, mas também os componentes não-aditivos.

A implementação de um programa de SG no melhoramento florestal envolve essencialmente duas etapas (Figura 6). A primeira refere-se à construção do modelo preditivo. Nesta etapa é definida uma «população de treinamento» composta por indivíduos que são genotipados com milhares de marcadores de DNA e mensurados para todas as características de interesse, visando assim desenvolver e validar modelos preditivos para serem usados posteriormente, na segunda etapa, na qual a SG é efetivamente colocada em prática. Uma população de treinamento é geralmente amostrada a partir de um teste de progênie existente, derivado do cruzamento de um grupo de genitores elite que foram selecionados para compor a população alvo a ser submetida a processos recorrentes de seleção e recombinação no programa de melhoramento. Normalmente, esse grupo de genitores elite tem um tamanho efetivo populacional (N_e) entre 30 e 100 e um número censitário que variará nesse mesmo intervalo levando

em consideração eventuais parentescos existentes entre os indivíduos. A população de treinamento deverá ter pelo menos 1.000 e preferencialmente 2.000 indivíduos ou mais. Entretanto, vale lembrar que quanto mais indivíduos forem genotipados e fenotipados para treinar os modelos, melhor estimados serão os efeitos dos marcadores e mais robusto se tornará o modelo preditivo.

Na segunda etapa, a SG é efetivamente aplicada aos candidatos à seleção. Estes candidatos à seleção tipicamente correspondem a um grande número de indivíduos de famílias de meios-irmãos ou irmãos completos derivados do cruzamento dos genitores elite originais ou do cruzamento de indivíduos selecionados na própria população de treinamento ou do teste de progênie utilizado para compor a população de treinamento. Esses candidatos à seleção são genotipados e têm seus valores genéticos genômicos estimados, usando o modelo preditivo desenvolvido anteriormente. As plantas melhor classificadas podem ser submetidas à indução de florescimento e cruzadas para gerar a próxima geração e/ou propagadas por clonagem e levadas a testes clonais de verificação, para posterior seleção para a recomendação operacional. Além disso, todos ou apenas um subconjunto aleatório de candidatos à seleção já genotipados pode ser plantado em delineamento experimental e fenotipado até a idade de rotação, para fornecer dados adicionais para a atualização do modelo preditivo a ser utilizado nas gerações subsequentes de SG, mitigando assim a erosão da associação (desequilíbrio de ligação) entre marcadores e QTL, e o decaimento do relacionamento genético entre a população de treinamento e os candidatos à seleção, procurando manter, portanto, a acurácia preditiva da SG ao longo das gerações.

Estudos experimentais e de simulação detalharam as perspectivas promissoras da SG em aumentar a eficiência dos programas de melhoramento florestal. No eucalipto e demais espécies plantadas na forma de clones, a SG não só poderia eliminar o teste de progênie, mas também reduziria o tempo e os custos envolvidos na fase de testes clonais, reduzindo o número de árvores testadas (Figura 7). Em coníferas, a SG combinada à embriogênese somática poderia aumentar consideravelmente a eficiência dos protocolos de propagação clonal atuais, permitindo a pré-seleção de embriões zigóticos com base na genotipagem e estimativa de seu valor genético genômico e a expansão imediata de linhagens embriogênicas elite para o estabelecimento de ensaios clonais ou diretamente em plantações comerciais.

Além do ganho de tempo e intensidade de seleção, uma vantagem pouco citada da SG tem a ver com a possibilidade de realizar com eficiência a seleção simultânea para várias características, em um grande número de indivíduos. É praticamente impossível para qualquer programa de melhoramento concluir uma avaliação rigorosa de todas as características de interesse em todas as árvores de um teste de progênie. Dependendo dos objetivos da produção florestal, as características alvo geralmente incluem crescimento volumétrico, conicidade e retidão do caule, propriedades físicas e químicas da madeira, capacidade de enraizamento, tolerância a pragas, doenças, seca e geada.

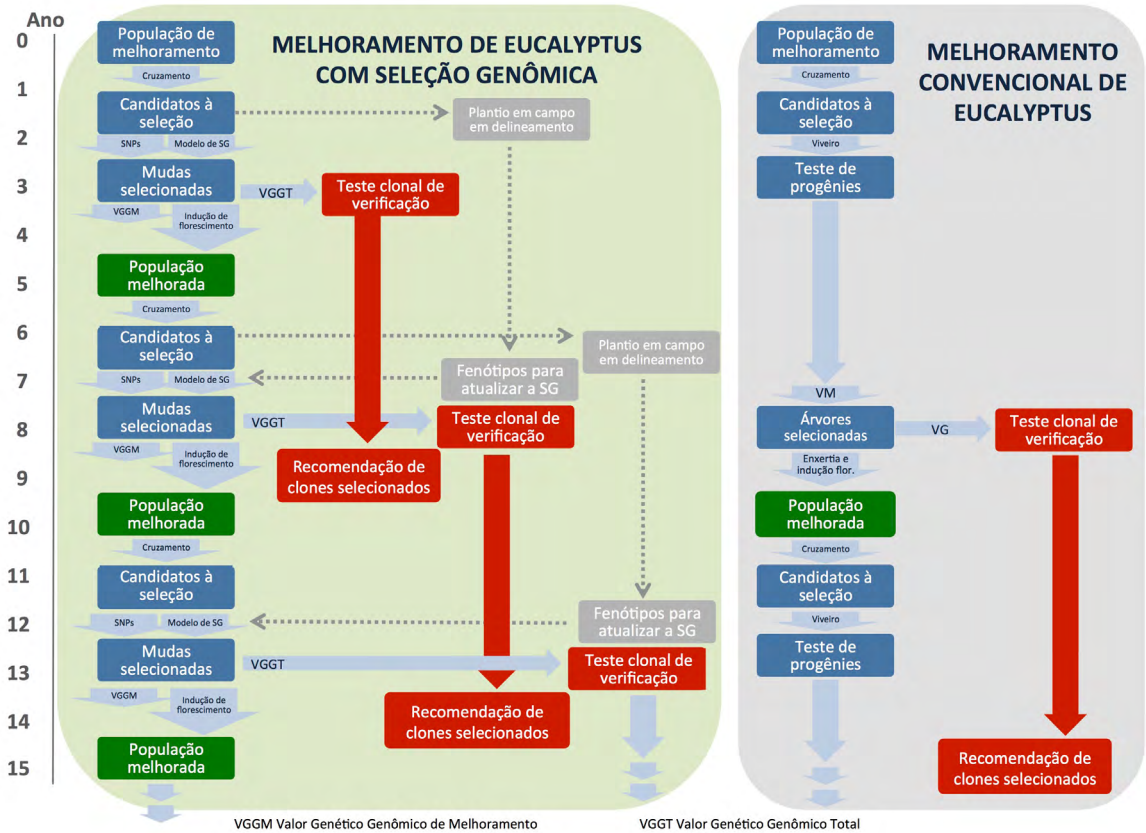


Figura 7. Comparação dos fluxogramas temporais e das etapas de execução de programas de seleção recorrente intra-populacional (caixinhas azuis e verdes) e seleção e recomendação de clones (caixinhas vermelhas) utilizando a seleção genômica (SG) ou a metodologia convencional de seleção fenotípica para o melhoramento de *Eucalyptus*. Ambos os métodos iniciam no ano zero com a mesma população base de melhoramento. No caso da seleção genômica assume-se que os modelos preditivos já foram previamente desenvolvidos. Caixinhas cinza correspondem às ações necessárias para atualização continua e progressiva dos modelos preditivos de seleção genômica. Figura adaptada reproduzida com permissão (Grattapaglia, 2017).

Em eucaliptos tropicais, por exemplo, mesmo em testes clonais, a avaliação de todas as características de interesse é tipicamente realizada somente nos estágios finais dos testes clonais ampliados para um número muito limitado de clones potenciais que foram pré-selecionados apenas para crescimento e densidade de madeira (Rezende et al., 2014). Devido a razões práticas e de custos, uma abordagem sequencial em tandem é normalmente usada, combinando níveis independentes de seleção para se chegar à classificação (*ranking*) do valor final dos candidatos. Na SG, uma vez que os valores genéticos são preditos para cada característica separadamente, índices de seleção

podem ser usados combinando as predições de todas as características sob análise em um único valor, para cada candidato. A validade desta abordagem de múltiplos passos repousa sobre uma propriedade que o Best Linear Unbiased Prediction (Blup) de qualquer combinação linear de características é igual à combinação linear dos valores preditos por Blup das características individuais (White et al., 2007). Portanto, o efeito líquido da SG seria um aumento notável na intensidade de seleção na fase de viveiro para todas as características, simultaneamente, melhorando consideravelmente a eficiência geral do programa de melhoramento. Além disso, a SG para múltiplas características poderia aumentar significativamente a acurácia da predição para uma característica de baixa herdabilidade ou para características com um número limitado de registros fenotípicos, quando uma característica correlacionada e de alta herdabilidade é disponível.

Seleção genômica: resultados experimentais em espécies de *Eucalyptus*

Os experimentos de SG em espécies de *Eucalyptus* têm procurado espelhar a estrutura das populações reais de melhoramento e adotar delineamentos que respondem, com satisfação às expectativas teóricas de diversidade e relacionamento entre os indivíduos utilizados no treinamento e na validação. Os trabalhos desenvolvidos pela Embrapa, em estreita colaboração com empresas florestais brasileiras, têm buscado avaliar o impacto das diferentes variáveis, particularmente relevantes para o melhoramento florestal, na acurácia da predição, incluindo o nível de relacionamento entre a população de treinamento e de validação, o efeito da interação genótipo*ambiente, e o desempenho de diferentes abordagens analíticas que se baseiam em diferentes premissas a respeito da arquitetura genética das características quantitativas alvo da seleção. De forma geral, as capacidades preditivas relatadas nos diferentes estudos com *Eucalyptus*, bem como com outras espécies florestais, principalmente de coníferas, têm sido muito satisfatórias (Grattapaglia, 2017; Grattapaglia et al., 2018), consistentes com as expectativas de trabalhos iniciais de simulação em espécies florestais (Grattapaglia; Resende, 2011; Iwata et al., 2011).

Dois estudos experimentais de SG foram os pioneiros na área florestal com participação destacada da Embrapa. Um em *Eucalyptus* envolvendo duas populações de melhoramento não relacionadas, com tamanhos efetivos populacionais contrastantes, avaliadas em ambientes diferentes (Resende et al., 2012), e um segundo envolvendo um conjunto de famílias de irmãos completos de *Pinus taeda* clonados e plantados em quatro ambientes diferentes, e mensurados em duas idades diferentes (Resende et al., 2012). Em ambos os estudos, capacidades preditivas equivalentes àquelas obtidas por seleção fenotípica foram estimadas por validação cruzada para características de crescimento e qualidade da madeira. Os resultados sugeriram que ganhos potenciais

de 50% a 200% na eficiência de seleção poderiam ser alcançados. Entretanto, estes estudos também mostraram que as capacidades preditivas dependem fortemente da existência de relacionamento genético entre a população de treinamento e de validação, e são impactadas pelas interações G*A e juvenil-adulto, de modo que as predições serão efetivas quando realizadas no mesmo ambiente onde, e na mesma idade quando, os dados de treinamento foram coletados.

Nos últimos anos diversos estudos experimentais de SG vêm sendo publicados em espécies de eucalipto pela equipe da Embrapa, sempre em colaboração com o setor produtivo no intuito de fomentar a internalização desta nova abordagem técnica nos programas de melhoramento das empresas florestais brasileiras (Lima, 2014; Torres-Dini et al., 2016; Muller et al., 2017; Resende et al., 2017; Tan et al., 2017, 2018; Cappa et al., 2019). Todos estes estudos, sem exceção, corroboraram as perspectivas promissoras da SG para acelerar o melhoramento de eucalipto, ressaltando que todos eles utilizaram a plataforma comum de genotipagem EUChip60K desenvolvida pela Embrapa para espécies de *Eucalyptus* (Silva-Junior et al., 2015). O desenvolvimento e disponibilização deste sistema de genotipagem no domínio público realizada pela Embrapa não apenas acelerou significativamente o acesso à SG por empresas e grupos de pesquisa interessadas em todo o mundo, mas também vem permitindo a execução de estudos comparativos e meta-análises de dados, uma vez que os mesmos SNPs foram utilizados, seguindo a mesma filosofia adotada para plataformas de genotipagem de seres humanos. Por fim, cabe destacar que em função do tempo necessário para obter dados experimentais de duas gerações em espécies florestais, até hoje os estudos ainda não puderam avaliar o desempenho da SG entre gerações, ou seja, usando dados de treinamento de uma geração ancestral para prever e validar fenótipos de descendentes na geração seguinte. Validação cruzada e externa, bem como estimativas de acurácia preditiva foram realizadas exclusivamente dentro da mesma geração, embora um estudo recente tenha tentado observar, com sucesso, a predição entre gerações ao consolidar dados de alguns poucos genitores e descendentes em mesmo conjunto de treinamento (Bartholome et al., 2016). Um detalhamento dos principais resultados e contribuições de todos esses estudos na avaliação das perspectivas da SG para o melhoramento florestal foge ao objetivo deste capítulo, mas foram revisados recentemente (Grattapaglia, 2017; Grattapaglia et al., 2018).

Aspectos operacionais e perspectivas para a implementação da seleção genômica

Conforme descrito anteriormente, a operacionalização de um programa de SG demanda inicialmente o desenvolvimento dos modelos preditivos, utilizando para isso uma população de treinamento devidamente genotipada com alta densidade de marcadores e fenotipada com alta qualidade para o maior número possível de características

de interesse ao programa. Em seguida, já na etapa de utilização efetiva da SG, uma vez realizada a genotipagem de SNPs e a predição genômica de todas as características-alvo para os candidatos à seleção (em geral mudas jovens ainda no viveiro) três possíveis rotas não exclusivas podem ser seguidas com estas plantas:

- As plantas melhor classificadas para valor genético genômico de melhoramento (VGGM) (efeitos aditivos) (genomic breeding value) são encaminhadas imediatamente para a indução de florescimento com os vários métodos disponíveis tais como a indução com fitoreguladores, ou enxertia de topo, e logo recombinadas para rapidamente gerar uma nova população melhorada, completando assim o ciclo recorrente de seleção.
- As plantas melhor classificadas para valor genético genômico total (VGGT) (efeitos aditivos e não aditivos) são selecionadas com intensidade de seleção desejada e clonadas ainda no viveiro e testes clonais de verificação implantados, visando uma seleção final de clones operacionais para plantio comercial.
- Uma vez que o investimento da genotipagem já foi realizado, todas ou apenas um subconjunto de algumas centenas de plantas pode ser instalado em ensaios de campo para fornecer, no devido tempo, dados fenotípicos a serem agregados ao conjunto de dados iniciais da população de treinamento, permitindo assim uma atualização contínua do modelo preditivo.

Com este esquema tentativo sugerido, espera-se que a SG possa eliminar a etapa de testes de progênie, acelerando a conclusão de um ciclo de melhoramento e permitindo a seleção de clones elite mais rapidamente. Com a SG, um ciclo de seleção recorrente de eucalipto tropical poderá durar de 5 a 6 anos, dependendo da capacidade de induzir florescimento, enquanto no melhoramento tradicional ele dura entre 12 e 18 anos dependendo da estratégia e agilidade na condução. Duas gerações de clones elite podem ser recomendadas via SG em 14 a 15 anos, enquanto a seleção fenotípica padrão forneceria apenas uma recomendação no mesmo período (Figura 7). É importante destacar que, mesmo com o uso da SG, embora predições precisas de propriedades de madeira possam ser obtidas nas plantas jovens, um teste clonal de verificação de desempenho no campo, com duração até a idade de rotação (6 anos) deve ser mantido da mesma forma que no melhoramento convencional, para avaliar aspectos de adaptabilidade que a SG pode ter dificuldade em predizer. Dependendo do desempenho da SG, entretanto, e à medida que o programa avança gerando mais dados sobre todo o processo pode ser possível até mesmo eliminar ou encurtar o teste clonal de verificação final, acelerando ainda mais a recomendação de novos clones.

A aplicação efetiva da predição genômica em um programa de melhoramento florestal, entretanto, variará de caso a caso, com base em uma análise detalhada da

relação custo/benefício. A SG pode não ser uma opção para programas de melhoramento de eucalipto em pequena escala ou para espécies de menor expressão, mercado limitado ou de nicho, pouca informação genética anterior e orçamentos modestos. Por outro lado, para programas de melhoramento agressivos como aqueles conduzidos por empresas florestais que sustentam grandes operações industriais, parece claro que os ganhos de tempo e intensidade de seleção, juntamente com a racionalização dos testes clonais, representa um avanço importante. A adoção da SG pode, portanto, tornar-se uma vantagem competitiva ao acelerar a recomendação de clones.

Ao finalizar a discussão da SG para *Eucalyptus*, algumas conclusões derivadas dos relatos experimentais de predição genômica podem ser, por fim, mencionadas. Espera-se que essas conclusões auxiliem a tomada de decisão quanto aos investimentos em projetos de pesquisa e implementação operacional da SG nos programas de melhoramento das organizações.

Para a implementação bem-sucedida da SG, todos os estudos experimentais demonstraram que é crucial que os candidatos à seleção sejam geneticamente relacionados à população de treinamento. Vários estudos ratificaram que a remoção do relacionamento genético entre os indivíduos utilizados no treinamento e na validação resultou na redução abrupta da capacidade preditiva. A avaliação do impacto do relacionamento genético sobre a capacidade preditiva, à medida que as gerações de seleção avançam, se afastando, assim, da população original de treinamento é uma área de estudo importante. Neste sentido, estratégias de atualização dos modelos preditivos como as descritas por (Iwata et al., 2011) serão muito importantes para contrabalançar a deterioração esperada do relacionamento genético e do desequilíbrio de ligação resultante da recombinação genética, e com isso manter capacidades preditivas elevadas ao longo do programa.

Praticamente todos os estudos em espécies florestais estimaram capacidades preditivas satisfatórias, usando densidades de genotipagem da ordem de 5.000 a 10.000 marcadores SNPs, muito provavelmente devido ao papel central do relacionamento genético como fator propulsor da capacidade preditiva. Densidades mais elevadas de marcadores, entretanto, são recomendadas para capturar desequilíbrio de ligação efetivo e, com isso, em teoria, sustentar a capacidade preditiva de modelos no longo prazo. Uma plataforma de genotipagem eficiente já é disponível para espécies de *Eucalyptus*. Embora métodos de genotipagem por seqüenciamento possam vir a ser uma alternativa de mais baixo custo, eles ainda precisam melhorar significativamente a qualidade dos dados gerados. As tecnologias de genotipagem em microarranjos de conteúdo fixo de SNPs constituem, hoje, o padrão ouro em termos de qualidade, reprodutibilidade e velocidade de geração de dados e facilidade de uso por parte do melhorista. Os custos de genotipagem caíram significativamente nos últimos anos, e já alcançaram hoje custos essencialmente equivalentes aos custos da genotipagem por sequenciamento. Com o uso crescente de microarranjos comuns por grande número

de organizações, estes custos podem cair mais ainda. O custo de genotipagem, antes considerado um fator limitante para a adoção da SG, não parece ser mais um entrave relevante.

Estudos de SG mostraram que as capacidades preditivas diminuíram quando modelos treinados em um ambiente foram validados em um ambiente diferente, embora a magnitude de tal redução variasse conforme a característica considerada. Basicamente, dados existentes de estudos convencionais da interação G*A ou juvenil-adulto são um indicativo preciso do que esperar da predição genômica entre diferentes ambientes e idades. Como regra geral, boas predições genômicas exigirão modelos de treinamento construídos com fenótipos mensurados no mesmo ambiente e idade onde e quando se pretende utilizá-los nos candidatos à seleção.

Apesar das estimativas encorajadoras de capacidade preditiva até agora, deve-se ressaltar mais uma vez que todos os estudos até o momento avaliaram apenas o potencial da SG dentro de uma mesma geração. Em outras palavras, os conjuntos de treinamento e validação eram contemporâneos. Nenhum resultado de SG em eucalipto em gerações verdadeiramente independentes de genitores e descendentes foi gerado e muito menos o desempenho da SG em gerações mais distantes da população de treinamento. Além disso, o impacto da recombinação e seleção ao longo das gerações sobre a capacidade preditiva ainda não pôde ser avaliado, uma questão que pode se tornar mais relevante à medida que as gerações de SG avançam. Existe um esforço global de vários grupos de pesquisa que trabalham na área para gerar dados experimentais sobre capacidade preditiva efetivamente realizada pela SG entre gerações nos próximos anos. Vários experimentos estão em andamento, principalmente com eucalipto e pinus, visando a avaliação comparativa entre as classificações de indivíduos obtidas com dados genômicos, e aquelas observadas na idade de rotação para características como crescimento e qualidade da madeira.

O melhoramento genético florestal convencional já enfrenta hoje um desafio crescente para a recomendação de clones em vista das flutuações ambientais cada vez mais frequentes e imprevisíveis. Em outras palavras, o ambiente que resultou no desempenho de um indivíduo selecionado em testes de progênie ou teste clonal pode não vir a ser exatamente o ambiente ao qual ele será exposto quando ele vier a ser plantado em florestas comerciais. No caso da SG este desafio pode ser mais crítico ainda. Modelos preditivos construídos para a predição de fenótipos em animais domésticos tendem a manter boa acurácia uma vez que o manejo (nutrição, temperatura, controle de pragas e doenças) pode ser controlado com bastante precisão, o que ajuda a explicar o grande sucesso da SG nesta área. No caso florestal, entretanto, com as flutuações ambientais, é praticamente inviável assegurar que o ambiente alvo no qual os fenótipos utilizados para treinar um modelo preditivo venha a ser o mesmo para os indivíduos selecionados ao longo das gerações. Isto torna o aspecto do re-treinamento dos modelos preditivos uma questão chave para o sucesso da SG

no melhoramento florestal. A implementação eficiente da SG vai demandar a atualização contínua dos modelos pela inclusão de novos dados fenotípicos e genotípicos coletados a cada geração, de modo a capturar os efeitos das flutuações ambientais nos modelos e com isso assegurar a sustentabilidade da capacidade preditiva dos mesmos.

Um método de predição genômica deve fornecer alta precisão, limitar o sobre-ajuste (*overfitting*) do modelo sobre a população de treinamento e capturar LD além de parentesco, para maior estabilidade no longo prazo. Um bom método deve ser fácil de implementar, confiável para uma ampla gama de características e conjuntos de dados e computacionalmente eficiente. Em inúmeros trabalhos realizados com espécies anuais, florestais e de animais domésticos, o método Ridge Regression-BLUP (RR-BLUP) e o seu equivalente G-BLUP foram eficazes em fornecer o melhor compromisso entre o tempo computacional e a eficiência de predição. O RR-BLUP assume que a característica é controlada por muitos locos de pequeno efeito, sugerindo, portanto, que as características quantitativas aderem adequadamente à premissa do modelo infinitesimal. Vários softwares de acesso aberto estão disponíveis para implementar este método e cursos de treinamento sobre seu uso são oferecidos regularmente por várias instituições em todo o mundo. Ainda assim, pesquisas sobre o assunto vêm sendo desenvolvidas para oferecer abordagens mais eficientes de aprendizado de máquina (*machine learning*) e inteligência artificial, para incorporar componentes de variação não aditiva e otimizar métodos de classificação individual de árvores, quando a seleção clonal é o objetivo.

O sucesso da implementação operacional da SG vai depender também, em boa parte, de aspectos logísticos como infraestrutura de viveiro, coleta e rastreamento de amostras, extração e qualificação de DNA em larga escala, contratação de provedores de serviços de genotipagem e análise de dados. Evidentemente a correta identificação de amostras ao longo de todo o processo passa a ser uma questão central para o sucesso da SG. No entanto, vários desses componentes já são usados rotineiramente, embora em menor escala, em operações de viveiro de grandes empresas de base florestal ou podem ser facilmente estabelecidos internamente ou acessados por meio de prestadores de serviços especializados em sistemas de informatizados de gerenciamento utilizados em laboratórios de análise clínica.

Uma análise detalhada da relação de custo e benefício em adotar a GS utilizando metodologias de valor presente líquido é um passo absolutamente necessário antes de considerar a sua implementação. O avanço inovador que a GS causou no melhoramento de bovinos de leite é frequentemente usado como um exemplo do uso economicamente bem-sucedido dessa tecnologia. Entretanto, enquanto bovinos e árvores compartilham o mesmo desafio dos longos tempos de geração, a logística e o custo de testar um touro são substancialmente mais altos do que a avaliação de uma árvore no campo, de modo que o custo da genotipagem em bovinos frente ao ganho na intensidade de seleção é facilmente justificado. Entretanto, a consolidação de um

número grande de amostras, em programas de melhoramento de várias organizações para genotipagem de SNP em contratos de longo prazo, já fornece hoje a economia de escala necessária para viabilizar os custos. Trabalhos de bioinformática e validação de SNPs em microarranjos estão bem avançados no LGV-Embrapa visando o desenvolvimento de disponibilização de uma plataforma de genotipagem de SNPs de segunda geração em parceria com a empresa detentora da tecnologia de microarranjos. Este novo microarranjo de genotipagem de SNPs com um maior número de SNPs, estimado não faixa de 70 a 75 mil, consideravelmente mais otimizado deverá ser oferecido no mercado em breve com custos extremamente competitivos, de ordem de 40% do custo do EuCHIP60K, de forma a tornar a SG uma opção cada vez mais accessível a todo o setor florestal baseado em florestas de eucalipto.

Conclusões

O Brasil é reconhecido mundialmente como um dos líderes no desenvolvimento e aplicação de inovações na área de genética, melhoramento e propagação de eucalipto. Este sucesso ocorreu principalmente em função do espírito empreendedor do setor produtivo de base florestal sempre estimulado pela pressão do mercado a desenvolver soluções locais e buscar inovações tecnológicas para manter e aumentar a competitividade. Outro aspecto fundamental que tem contribuído de forma decisiva para o sucesso do setor florestal produtivo brasileiro tem sido a forte predisposição, seja entre as empresas bem como delas com a Embrapa, as diversas universidades e instituições de pesquisa, em compartilhar conhecimentos e encarar desafios de pesquisa e desenvolvimento de forma colaborativa, numa visão público-privada que, espera-se, possa se tornar cada vez mais frequente em outros setores industriais do País. A evolução que o Brasil teve na área de utilização efetiva de ferramentas genômicas no melhoramento florestal iniciada principalmente com o Projeto Genolyptus e continuada com o Projeto Nextree e outras iniciativas que, de uma forma ou de outra, surgiram a partir do Genolyptus ou do projeto internacional de sequenciamento do genoma do eucalipto, é um dos exemplos nesta linha, que segue ativa até hoje com diversos projetos em várias organizações. As contribuições da Embrapa, retratadas neste capítulo, notadamente tiveram, e continuam tendo, papel importante para que o país alcançasse este estágio atual.

Para a consolidação das novas ferramentas genômicas como um instrumento adicional efetivo do melhoramento genético, é fundamental, entretanto, que os investimentos brasileiros em pesquisa sejam contínuos, seja mediante de parcerias público-privadas bem como com crescentes investimentos em projetos competitivos dentro das empresas, profundamente interconectados com as estratégias e tecnologias da genética biométrica e melhoramento florestal. A Seleção Genômica no melhoramento

é hoje um tópico quente no melhoramento de plantas e animais em todo o mundo, e representa talvez o melhor exemplo atual de convergência entre as tecnologias genômicas de alto desempenho e os conceitos fundamentais da genética quantitativa (Grattapaglia et al., 2018). Embora os princípios da genética quantitativa e melhoramento que fundamentam a SG devam permanecer essencialmente como são, aqueles relacionados com a geração e análise de dados certamente irão evoluir à medida que novas tecnologias de genotipagem e sequenciamento de DNA se materializarem e abordagens mais potentes de ciência de dados e inteligência artificial forem desenvolvidas. À medida que a SG for sendo adotada nas diversas organizações e, com isso, uma quantidade crescente de dados experimentais for sendo coletada e disponibilizada, a predição genômica poderá se tornar uma plataforma experimental poderosa para auxiliar na investigação da base molecular das características quantitativas que, por sua vez, vai auxiliar no direcionamento de estratégias efetivas de edição gênica. A elucidação completa das conexões entre o genoma e a expressão final das características multifatoriais no eucalipto, no entanto, continuará a ser um empreendimento desafiador devido à dinâmica de tempo e espaço à qual árvores são sujeitas, e aos processos estocásticos de difícil predição que impactam as relações complexas entre genótipos e fenótipos.

Agradecimentos

Os trabalhos descritos neste capítulo foram apoiados, ao longo dos anos, por recursos de diversos projetos competitivos de agências de fomento, incluindo a Financiadora de Estudos e Projetos-Finep, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Capes e Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal-FAP-DF, bem como por várias empresas privadas do setor florestal, a quem o autor estende seus sinceros agradecimentos. Um agradecimento especial a todos os estudantes e colaboradores das várias universidades, organizações de pesquisa e empresas privadas que participaram ativamente da execução destes projetos, sem os quais nada do que foi descrito teria sido possível. Também agradeço, em particular à Embrapa por prover um ambiente estimulante e uma infraestrutura de pesquisa que permitiram estabelecer e manter, com sucesso, as redes de colaboração nacionais e internacionais necessárias para a execução continuada dos projetos que resultaram nos avanços descritos. Por fim, um agradecimento especial ao meu melhor amigo, pesquisador da Embrapa e grande parceiro de iniciativas e realizações ao longo destes 25 anos no LGV, Dr. Marcio Elias Ferreira, pela leitura crítica, correções e sugestões neste capítulo.

Referências

AKKAYA, M. S.; BHAGWAT, A. A.; CREGAN, P. B. Length polymorphisms of simple sequence repeat DNA in soybean. **Genetics**, v. 132, n. 4, p. 1131-1139, 1992.

ALVES, A. A.; ROSADO, C. C. G.; FARIA, D. A.; GUIMARÃES, L. M. da S.; LAU, D.; BROMMONSCHENKEL, S. H.; GRATTAPAGLIA, D.; ALFENAS, A. C. Genetic mapping provides evidence for the role of additive and non-additive QTLs in the response of inter-specific hybrids of *Eucalyptus* to *Puccinia psidii* rust infection. **Euphytica**, v. 183, n. 1, p. 27-38, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-011-0455-5.

ARNOLD, B.; CORBETT-DETIG, R. B.; HARTL, D.; BOMBLIES, K. RADseq underestimates diversity and introduces genealogical biases due to nonrandom haplotype sampling. **Molecular Ecology**, v. 22, n. 11, p. 3179-3190, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/mec.12276.

BAIRD, N. A.; ETTER, P. D.; ATWOOD, T. S.; CURREY, M. C.; SHIVER, A. L.; LEWIS, Z. A.; SELKER, E. U.; CRESKO, W. A.; JOHNSON, E. A. Rapid SNP Discovery and genetic mapping using sequenced RAD markers. **Plos One**, v. 3, n. 10, 2008. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003376.

BARBAZUK, W. B.; EMRICH, S. J.; CHEN, H. D.; LI, L.; SCHNABLE, P. S. SNP discovery via 454 transcriptome sequencing. **Plant Journal**, v. 51, n. 5, p. 910-918, 2007. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03193.x.

BARTHOLOME, J.; VAN HEERWAARDEN, J.; ISIK, F.; BOURY, C.; VIDAL, M.; PLOMION, C.; BOUFFIER, L. Performance of genomic prediction within and across generations in maritime pine. **BMC Genomics**, v. 17, n. 1, p. 604, 2016. DOI: https://doi.org/10.1186/s12864-016-2879-8.

BERNARDO, R. Molecular markers and selection for complex traits in plants: learning from the last 20 years. **Crop Science**, v. 48, n. 5, p. 1649-1664, 2008. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2008.03.0131.

BERNARDO, R.; YU, J. M. Prospects for genomewide selection for quantitative traits in maize. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. 1082-1090, 2007. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2006.11.0690.

BLAKE, T.; BEVILACQUA, E. Early selection of fast-growing *Eucalyptus* clones and species. **IPEF International**, v. 1, p. 26-34, 1990.

BORRALHO, N. M. G.; COTTERILL, P. P.; KANOWSKI, P. J. Genetic-parameters and gains expected from selection for dry-weight in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* in Portugal. **Forest Science**, v. 38, n. 1, p. 80-94,1992. DOI: https://doi.org/10.1093/forestscience/38.1.80.

BOUVET, J.-M.; VIGNERON, P.; SAYA, R.-A.; GOUMA, R. Early selection of *Eucalyptus* clones in retrospective nursery test using growth, morphological and dry matter criteria, in Republic of Congo. **Southern African Forestry Journal**, v. 200, n. 1, p. 5-17, 2004. DOI: https://doi.org/10.1080/20702620.2004.10431756.

BRONDANI, R. P.; BRONDANI, C.; GRATTAPAGLIA, D. Towards a genus-wide reference linkage map for *Eucalyptus* based exclusively on highly informative microsatellite markers. **Molecular Genetics and Genomics**, v. 267, n. 3, p. 338-47, 2002. DOI: https://doi.org/10.1007/s00438-002-0665-6.

BRONDANI, R. P. V.; BRONDANI, C.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático para o desenvolvimento de marcadores microssatélites em plantas**. Brasília, DF: Embrapa, 2007. 192 p.

BRONDANI, R. P. V.; BRONDANI, R.; TARCHINI, R.; GRATTAPAGLIA, D. Development, characterization and mapping of microsatellite markers in *Eucalyptus grandis* and *E.urophylla*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 97, p. 816-827, 1998. DOI: https://doi.org/10.1007/s001220050961.

BRONDANI, R. P. V.; BRONDANI, C.; TARCHINI, R.; TINGEY, D.; GRATTAPAGLIA, D. Discovery and development of microsatellite based markers in *Eucalyptus*. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...= Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 2. p. 30-35.

BRONDANI, R. P.; WILLIAMS, E. R.; BRONDANI, C.; GRATTAPAGLIA, D. A microsatellite-based consensus linkage map for *Eucalyptus* species and a novel set of 230 microsatellite markers for the genus. **BMC Plant Biology**, article number 20, 2006. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2229-6-20.

BYRNE, M.; MORAN, G. F.; TIBBITS, W. N. Restriction map and maternal inheritance of chloroplast DNA in *Eucalyptus nitens*. **Journal of Heredity**, v. 84, p. 218-220, 1993.

CAPPA, E. P.; EL-KASSABY, Y. A.; GARCIA, M. N.; ACUÑA, C.; BORRALHO, N. M. G.; GRATTAPAGLIA, D.; POLTRI, S. N. M. Impacts of population structure and analytical models in genome-wide association studies of complex traits in forest trees: a case study in *Eucalyptus globulus*. **Plos One**, v. 8, n. 11, 2013. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081267.

CAPPA, E. P. ; LIMA, B. M.; SILVA-JUNIOR, O. B.; GARCIA, C. C.; MANSFIELD, S. D.; GRATTAPAGLIA, D. Improving genomic prediction of growth and wood traits in *Eucalyptus* using phenotypes from non-genotyped trees by single-step GBLUP. **Plant Science**, v. 284, p. 9-15, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.017.

CARRER, H. Seeing the FORESTs for the trees. **Genetics and Molecular Biology**, v. 28, n. 3, p. I-II, 2005.

CORREIA, L.; FARIA, D.; GRATTAPAGLIA, D. Comparative assessment of SNPs and microsatellites for fingerprinting, parentage and assignment testing in species of *Eucalyptus*. **BMC Proceedings**, v. 5, suppl. 7, p. 41, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-P41.

CROSSA, J.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, P.; CUEVAS, J.; MONTESINOS-LÓPEZ, O.; JARQUÍN, D.;CAMPOS G. DE LOS; BURGUEÑO, J.; GONZÁLEZ-CAMACHO, J. M.; PÉREZ-ELIZALDE, S.; BEYENE, Y.; DREISIGACKER, S.; SINGH, R.; ZHANG, X.; GOWDA, M.; ROORKIWA, M.; RUTKOSKI, J.;VARSHNEY, R. K. Genomic selection in plant breeding: methods, models, and perspectives. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 11, p. 961-975, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.08.011.

DAVEY, J. W.; HOHENLOHE, P. A.; ETTER, P. D.; BOONE, J. Q.; CATCHEN, J. M.; BLAXTER, M. L. Genome-wide genetic marker discovery and genotyping using next-generation sequencing. **Nature Reviews Genetics**, v. 12, n. 7, p. 499-510, 2011. DOI: https://doi.org/10.1038/nrg3012.

ECKERT, A. J.; PANDE, B.; ERSOZ, E. S.; WRIGHT, M. H.; RASHBROOK, V. K.; NICOLET, C. M.; NEALE, D. B. High-throughput genotyping and mapping of single nucleotide polymorphisms in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Tree Genetics & Genomes**, v. 5, n. 1, p. 225-234, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-008-0183-8.

EL-KASSABY, Y. A.; LSTIBUREK, M. Breeding without breeding. **Genetics Research**, v. 91, n. 2, p. 111-120, 2009. DOI: https://doi.org/10.1017/S001667230900007X.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWIID, C.; WYK, G. van. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1993. 288 p.

ELSHIRE, R. J.; GLAUBITZ, J. C.; SUN, Q. I.; POLAND, J. A.; KAWAMOTO, K.; BUCKLER, E.; MITCHELL, S. E. A robust, simple genotyping-by-sequencing (Gbs) approach for high diversity species. **Plos One**, v. 6, n. 5, 2011. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019379.

FARIA, D. A.; MAMANI, E. M. C.; PAPPAS, G. J.;GRATTAPAGLIA, D. Genotyping systems for *Eucalyptus* based on tetra-, penta-, and hexanucleotide repeat EST microsatellites and their use for individual fingerprinting and assignment tests. **Tree Genetics & Genomes**, v. 7, n. 1, p. 63-77, 2011a. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-010-0315-9.

FARIA, D. A.; MAMANI, E. M. C.; PAPPAS, M. R.; PAPPAS, G. J.; GRATTAPAGLIA, D. A selected set of EST-derived microsatellites, polymorphic and transferable across 6 species of *Eucalyptus*. **Journal of Heredity**, v. 101, n. 4, p. 512-520, 2010. DOI: https://doi.org/10.1093/jhered/esq024.

FARIA, D. A.; MAMANI, V.; SENA, J.; ALVES, A.; FALCAO, C.; LOURENÇO, R.; PAPPAS, J.; GRATTAPAGLIA, D. A new set of 182 microsatellites for *Eucalyptus*: characterization and mapping in a four-species consensus linkage map. **BMC Proceedings**, v. 5, n. suppl. 7, p. P34, 2011b. DOI: 10.1186/1753-6561-5-S7-P34.

FIGUEIREDO, P. N. Beyond technological catch-up: an empirical investigation of further innovative capability accumulation outcomes in latecomer firms with evidence from Brazil. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 31, p. 73-102, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2013.10.008.

FIGUEIREDO, P. N. Evolution of the short-fiber technological trajectory in Brazil's pulp and paper industry: the role of firm-level innovative capability-building and indigenous institutions. **Forest Policy and Economics**, v. 64, p. 1-14, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.12.008.

FISHER, R. A. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v. 52, p. 399-433, 1918.

FOSS, N.; MILAGRES, R. Pro-social motivation beyond firm boundaries: the case of the Genolyptus Network. BAR. **Brazilian Administration Review**, v. 11, p. 364-384, 2014.

GAIOTTO, F. A.; BRAMUCCI, M.; GRATTAPAGLIA, D. Estimation of outcrossing rate in a breeding population of *Eucalyptus urophylla* with dominant RAPD and AFLP markers. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 95, p. 842-849, 1997. DOI: https://doi.org/10.1007/s001220050634.

GAIOTTO, F. A.; GRATTAPAGLIA, D. Estimation of genetic variability in a breeding population of *Eucalyptus urophylla* using AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) markers. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings... = Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 2. p. 46-52.

GANAL, M. W.; ALTMANN, T.; RODER, M. S. SNP identification in crop plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 2, p. 211-217, p. 211-217, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.12.009.

GAUTIER, M.; GHARBI, K.; CEZARD, T.; FOUCAUD, J.; KERDELHUÉ, C.; PUDLO, P.; CORNUET, J. M.; ESTOUP, A. The effect of RAD allele dropout on the estimation of genetic variation within and between populations. **Molecular Ecology**, v. 22, n. 11, p. 3165-3178, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/mec.12089.

GODDARD, M. E.; HAYES, B. J. Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes. **Nature Reviews Genetics**, v. 10, n. 6, p. 381-391, 2009. DOI: https://doi.org/10.1038/nrg2575.

GOODSTEIN, D.; RUSSELL, H.; NEUPANE, R.; HAYES, R.D.; FAZO, J.; MITROS, T.; DIRKS, W.; HELLSTEN, U.; PUTNAM, N.; ROKHSAR, D. D. Phytozome: a comparative platform for green plant genomics. **Nucleic Acids Research**, v. 40, n. D1, p. D1178-D1186, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1093/nar/gkr944.

GRATTAPAGLIA, D.; ALENCAR, S.; PAPPAS, G. J. Genome-wide genotyping and SNP discovery by ultra-deep Restriction-Associated DNA (RAD) tag sequencing of pooled samples of *E. grandis* and *E. globulus*. **BMC Proceedings**, v. 5, suppl. 7, p. P45, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-P45.

GRATTAPAGLIA, D.; ALFENAS, A.; COELHO, A.; PAPPAS, G.; PASQUALI, G.; PEREIRA, G.; COLODETTE, J.; GLOMIDE, J. L.; BUENO, J.; CASCARDO, J.; BRONDANI, R.; BROMMONSCHENKEL, S. Building resources for molecular breeding of *Eucalyptus*. In: EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD: international IUFRO conference of the WP2.08.03 on silviculture and improvement of eucalypts, 2004, Aveiro. **Proceedings**. Aveiro: Instituto de Investigação da Floresta e Papel, 2004a. p. 20-32.

GRATTAPAGLIA, D.; BERTOLUCCI, F. L.; SEDEROFF, R. R. Genetic mapping of QTLs controlling vegetative propagation in *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla* using a pseudo-testcross strategy and RAPD markers. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 90, n. 7-8, p. 933-947, 1995. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00222906.

GRATTAPAGLIA, D.; CHAPARRO, J.; WILCOX, P.; MCCORD, S.; WERNER, D.; AMERSON, H.; MCKEAND, S.; BRIDGWATER, F.; WHETTEN, R.; O'MALLEY, D.; SEDEROFF, R. R. Mapping in woody plants with RAPD markers: applications to breeding in forestry and horticulture. In: SYMPOSIUM OF THE APPLICATIONS OF RAPD TECHNOLOGY TO PLANT BREEDING: Analysis of genetic relationships using RAPD marker data, 1992, Minneapolis. **Proceedings** [...]. Minneapolis: Crop Science Society of America, American Society of Horticultural Science, American Genetic Association, 1992. p. 37-40.

GRATTAPAGLIA, D. Integrating genomics into *Eucalyptus* breeding. **Genetics and Molecular Research**, v. 3, n. 3, p. 369-379, 2004.

GRATTAPAGLIA, D.; KIRST, M. *Eucalyptus* applied genomics: from gene sequences to breeding tools. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 911-929, 2008.

GRATTAPAGLIA, D.; MAMANI, E. M. C.; SILVA-JUNIOR, O. B.; FARIA, D. A novel genome-wide microsatellite resource for species of *Eucalyptus* with linkage-to-physical correspondence on the reference genome sequence. **Molecular Ecology Resources**, v. 15, n. 2, p. 437-448, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/1755-0998.12317.

GRATTAPAGLIA, D. Marker assisted selection in *Eucalyptus*. In: GUIMARÃES, E. (Ed.). **Marker-assisted selection (MAS) in crops, livestock, forestry and fish**: current status and the way forward. Rome: FAO, 2006.

GRATTAPAGLIA, D. Molecular breeding of *Eucalyptus*, state of the art, operational applications and technical challenges. In: JAIN, S. M.; MINOCHA, S. C. (ed.). **Molecular biology of woody plants**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 451-474. (Forestry sciences, 64).

GRATTAPAGLIA, D.; PENCHEL, R.; SEDEROFF, R. R. Genetic mapping of quantitative trait loci controlling growth and wood quality traits in *Eucalyptus* grandis using a maternal half-sib family and RAPD markers. **Genetics**, v. 144, n. 3, p. 1205-14, 1996.

GRATTAPAGLIA, D.; PIMENTA, D.; CAMPINHOS, E.; RESENDE, G. D.; ASSIS, T. Marcadores moleculares na proteção varietal de Eucalyptus. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Benefícios, produtos e serviços da floresta**: oportunidades e desafios do século XXI. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 2003. p. 1-13.

GRATTAPAGLIA, D.; PLOMION, C; KIRST, M; SEDEROFF, R. Genomics of growth traits in forest trees. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 2, p. 148-156, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.12.008.

GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V. Genomic selection in forest tree breeding. **Tree Genetics & Genomes**, v. 7, n. 2, p. 241-255, 2011.

GRATTAPAGLIA, D.; RIBEIRO, V. J.; REZENDE, G. D. Retrospective selection of elite parent trees using paternity testing with microsatellite markers: an alternative short term breeding tactic for *Eucalyptus*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 109, n. 1, p. 192-9, 2004b. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-004-1617-9.

GRATTAPAGLIA, D.; SEDEROFF, R. R. Genetic linkage maps of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* using a pseudo-testcross: mapping strategy and RAPD markers. **Genetics**, v. 137, n. 4, p. 1121-37, 1994.

GRATTAPAGLIA, D.; SILVA-JUNIOR, O. B.; KIRST, M.; LIMA, B. M. de; FARIA, D. A.; PAPPAS JUNIOR, G. J. High-throughput SNP genotyping in the highly heterozygous genome of *Eucalyptus*: assay success, polymorphism and transferability across species. **BMC Plant Biology**, v. 11, n. 65, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-65.

GRATTAPAGLIA, D.; SILVA-JUNIOR, O. B.; RESENDE, R. T.; CAPPA, E. P.; MÜLLER, B. S. F.; TAN, B.; ISIK, F.; RATCLIFFE, B.; EL-KASSABY, Y. E. Quantitative genetics and genomics converge to accelerate forest tree breeding. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1693, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01693.

GRATTAPAGLIA, D. Status and perspectives of genomic selection in forest tree breeding. In: VARSHNEY, R. K.; ROORKIWAL, M.; SORRELLS, M. E. (ed.). **Genomic selection for crop improvement**: new molecular breeding strategies for crop improvement. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 199-249.

GRATTAPAGLIA, D.; VAILLANCOURT, R. E.; SHEPHERD, M.; THUMMA, B. R.; FOLEY, W.; KÜLHEIM, C.; POTTS, B. M.; MYBURG, A. A. Progress in Myrtaceae genetics and genomics: *Eucalyptus* as the pivotal genus. **Tree Genetics & Genomes**, v. 8, n. 3, p. 463-508, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-012-0491-x.

GRIFFIN, A. R.; WHITEMAN, P.; RUDGE, T.; BURGESS, I. P.; MONCUR, M. Effect of paclobutrazol on flower-bud production and vegetative growth in two species of *Eucalyptus*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, n. 640-647, 1993. DOI: https://doi.org/10.1139/x93-084.

GUNDERSON, K. L.; STEEMERS, F. J.; LEE, G.; MENDOZA, L. G.; CHEE, M. S. A genome-wide scalable SNP genotyping assay using microarray technology. **Nature Genetics**, v. 37, n. 5, p. 549-54, 2005. DOI: https://doi.org/10.1038/ng1547.

HALEY, C. S.; VISSCHER, P. M. Strategies to utilize marker-quantitative trait loci associations. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 85-97,

HARFOUCHE, A.; MEILAN, R.; KIRST, M.; MORGANTE, M.; BOERJAN, W.; SABATTI, M.; MUGNOZZA, G. S. Accelerating the domestication of forest trees in a changing world. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 2, p. 64-72, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.11.005.

HARWOOD, C. New introductions: doing it right. In: WALKER, J. (ed.). **Proceedings of the workshop of developing a eucalypt resource**: learning from Australia and elsewhere. Christchurch: University of Canterbury, 2011. p. 125-136.

HASAN, O.; REID, J. B. Reduction of generation time in *Eucalyptus globulus*. **Plant Growth Regulation**, v. 17, n. 1, p. 53-60, 1995. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00024495.

HAYES, B. J.; BOWMAN, P. J.; CHAMBERLAIN, A. J.; GODDARD, M. E. Invited review: genomic selection in dairy cattle: progress and challenges. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 2, p. 433-443, 2009. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2008-1646.

HEFFNER, E. L.; SORRELLS, M. E.; JANNINK, J. L. Genomic Selection for crop improvement. **Crop Science**, v. 49, n. 1, p. 1-12, 2009.

HUDSON, C. J.; FREEMAN, J. S.; KULLAN, A. R. K.; PETROLI, C. D.; SANSALONI, C. P.; KILIAN, A.; DETERING, F.; GRATTAPAGLIA, D.; POTTS, B. M.; MYBURG, A. A.; VAILLANCOURT, R. E. A reference linkage map for *Eucalyptus*. **BMC Genomics**, v. 13, article 240, 2012. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-240.

ISIK, F. Genomic selection in forest tree breeding: the concept and an outlook to the future. **New Forests**, v. 45, n. 3, p. 379-401, 2014.

IWATA, H.; HAYASHI, T.; TSUMURA, Y. Prospects for genomic selection in conifer breeding: a simulation study of *Cryptomeria japonica*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 7, n. 4, p. 747-758-758, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s11295-011-0371-9.

JUNGHANS, D. T.; ALFENAS, A. C.; BROMMONSCHENKEL, S. H.; ODA, S.; MELLO, E. J. GRATTAPAGLIA, D. Resistance to rust (*Puccinia psidii* Winter) in *Eucalyptus*: mode of inheritance and mapping of a major gene with RAPD markers. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 108, n. 1, p. 175-80, 2003. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-003-1415-9.

KIRST, M.; BRONDANI, R. P. V.; BRONDANI, C.; GRATTAPAGLIA, D. Screening of designed primer pairs of recovery of microsatellite markers and their transferability among species of *Eucalyptus*. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings**...=**Anais**... Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 2. p. 167-171.

KIRST, M.; CORDEIRO, C. M.; REZENDE, G. D.; GRATTAPAGLIA, D. Power of microsatellite markers for fingerprinting and parentage analysis in *Eucalyptus grandis* breeding populations. **Journal of Heredity**, v. 96, n. 2, p. 161-166, 2005. DOI: https://doi.org/10.1093/jhered/esi023.

LIMA, B. M. **Bridging genomics and quantitative genetics of *Eucalyptus***: genome-wide predic. 2014. 93 f. Thesis (Doctor in Science) - University of São Paulo “Luiz de Queiroz” College of Agriculure, Piracicaba.

LIMA, B. M.; CAPPA, E. P.; SILVA-JUNIOR, O. B.; GARCIA, C.; MANSFIELD, S. D.; GRATTAPAGLIA, D. Quantitative genetic parameters for growth and wood properties in *Eucalyptus* "urograndis" hybrid using near-infrared phenotyping and genome-wide SNP-based relationships. **Plos One**, v. 14, n. 6, p. e0218747, 2019. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218747.

LIN, Z.; HAYES, B. J.; DAETWYLER, H. D. Genomic selection in crops, trees and forages: a review. **Crop & Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1177-1191, 2014.

LOWRY, D.; HOBAN, S.; KELLEY, J.; LOTTERHOS, K.; REED, L.; ANTOLIN, M. F.; STORFER, A. Breaking RAD: an evaluation of the utility of restriction site-associated DNA sequencing for genome scans of adaptation. **Molecular Ecology Resources**, v. 17, n. 2, p. 142-152, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/1755-0998.12635.

MAMANI, E. M. C.; BUENO, N. W.; FARIA, D. A.; GUIMARÃES, L. M. S.; LAU, D.; ALFENAS, A. C.; GRATTAPAGLIA, D. Positioning of the major locus for *Puccinia psidii* rust resistance (Ppr1) on the *Eucalyptus* reference map and its validation across unrelated pedigrees. **Tree Genetics & Genomes**, v. 6, n. 6, p. 953-962, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-010-0304-z.

MARQUES, C. M.; ARAÚJO, J. A.; FERREIRA, J. G.; WHETTEN, R.; O'MALLEY, D. M.; LIU, B.-H.; SEDEROFF, R. AFLP genetic maps of *Eucalyptus globulus* and *E. tereticornis*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 96, p. 727-737, 1998. DOI: https://doi.org/10.1007/s001220050795.

MARQUES, C. M.; VASQUEZ-KOOL, J.; CAROCHA, V. J.; FERREIRA, J. G.; O'MALLEY, D. M.; LIU, B.-H.; SEDEROFF, R. Genetic dissection of vegetative propagation traits in *Eucalyptus tereticornis* and *E. globulus*. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 99, n. 6, p. 936-946, 1999. DOI: https://doi.org/10.1007/s001220051400.

MARQUES, M.; BRONDANI, V.; GRATTAPAGLIA, D.; SEDEROFF, R. Conservation and synteny of SSR loci and QTLs for vegetative propagation in four *Eucalyptus* species. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 105, n. 2-3, p. 474-478, 2002. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-002-0899-z.

MEUWISSEN, T. H.; HAYES, B. J.; GODDARD, M. E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. **Genetics**, v. 157, n. 4, p. 1819-29.

MILAGRES, R. Redes de empresas, a chave para inovar. **HSM Management**, v. 72, p. 1-6, 2009.

MILAGRES, R. Rotinas e redes: o caso Genolyptus. **Reuna**, v. 19, p. 105-122, 2014.

MILAGRES, R.; SILVEIRA, F. Evaluating routines for network knowledge generation and transfer: the Genolyptus case. In: DRUIDs 25th Celebration Conference. Copenhagen: DRUID, 2008. 28 p. (Danish Research Unit for Industrial Dynamics).

MISSIAGGIA, A.; PIACEZZI, A.; GRATTAPAGLIA, D. Genetic mapping of Eef1, a major effect QTL for early flowering in *Eucalyptus grandis*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 1, p. 79-84, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-005-0011-3.

MORAN, G. F., BELL, J. C. *Eucalyptus*. In: TANKSLEY, S. D.; ORTON, T. J. (ed.). **Isozymes in plant genetics and breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 423-441.

MORAN, G. F. Patterns of genetic diversity in Australian tree species. **New Forests**, v. 6, p. 49-66, 1992.

MÜLLER, B. S. F.; ALMEIDA FILHO, J. E. de; LIMA, B. M.; GARCIA, C. C.; MISSIAGGIA, A.; AGUIAR, A. M.; TAKAHASHI, E.; KIRST, M.; GEZAN, S. A.; SILVA-JUNIOR, O. B.; NEVES, L. G.; GRATTAPAGLIA, D. Independent and Joint-GWAS for growth traits in *Eucalyptus* by assembling

genome-wide data for 3373 individuals across four breeding populations. **New Phytologist**, v. 221, n. 2, p. 818-833, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.15449.

MÜLLER, B. S. F.; NEVES, L. G.; ALMEIDA FILHO, J. E. de; RESENDE JUNIOR, M. F. R.; MUÑOZ, P. R.; SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E.; KIRST, M.; GRATTAPAGLIA, D. Genomic prediction in contrast to a genome-wide association study in explaining heritable variation of complex growth traits in breeding populations of *Eucalyptus*. **BMC Genomics**, v. 18, article 524, 2017. 17 p. DOI: https://doi.org/10.1186/s12864-017-3920-2.

MURRAY, S. S.; OLIPHANT, A.; SHEN, R.; MCBRIDE, C.; STEEKE, R. J.; SHANNON, S. G.; RUBANO, T.; KERMANI, B. G.; FAN, J.-B.; CHEE, M. S.; HANSEN, M. S. T. A highly informative SNP linkage panel for human genetic studies. **Nature Methods**, v. 1, n. 2, p. 113-7, 2004. DOI: https://doi.org/10.1038/nmeth712.

MYBURG, A.; GRATTAPAGLIA, D.; TUSKAN, G.; JENKINS, J.; SCHMUTZ, J.; MIZRACHI, E.; HEFER, C.; PAPPAS, G.; STERCK, L.; DE PEER, Y. V.; HAYES, R.; ROKHSAR, D. The *Eucalyptus grandis* Genome Project: genome and transcriptome resources for comparative analysis of woody plant biology. **BMC Proceedings**, v. 5, suppl. 7, p. I20, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-I20.

MYBURG, A. A.; GRATTAPAGLIA, D.; TUSKAN, G. A.; HELLSTEN, U.; HAYES, R. D.; GRIMWOOD, J.; JENKINS, J.; LINDQUIST, E.; BAUER, D.; GOODSTEIN, D. M.; DUBCHAK, I.; POLIAKOV, A.; MIZRACHI, E.; KULLAN, A. R. K.; HUSSEY, S. G.; PINARD, D.; MERWE, K. van der; SINGH, P.; JAARSVELD, I. van; SILVA JUNIOR, O. B.; TOGAWA, R. C.; PAPPAS, M. R.; FARIA, D. A.; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; YANG, X.; RANJAN, P.; TSCHAPLINSKI, T. J.; YE, C.-Y.; LI, T.; STERCK, L.; VANNESTE, K.; MURAT, F.; SOLER, M.; SAN CLEMENTE, H.; SAIDI, N.; CASSAN-WANG, H.; DUNAND, C.; HEFER, C. A.; BORNBERG-BAUER, E.; KERSTING, A. R.; VINING, K.; AMARASINGHE, V.; RANIK, M.; NAITHANI, S.; ELSER, J.; BOYD, A. E.; LISTON, A.; SPATAFORA, J. W.; DHARMWARDHANA, P.; RAJA, R.; SULLIVAN, C.; ROMANEL, E.; ALVES-FERREIRA, M.; KULHEIM, C.; FOLEY, W.; CAROCHA, V.; PAIVA, J.; KUDRNA, D.; BROMMONSCHENKEL, S. H.; PASQUALI, G.; BYRNE, M.; RIGAULT, P.; SPOKEVICIUS, A.; JONES, R. C.; STEANE, D. A.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M.; JOUBERT, F.; BARRY, K.; PAPPAS JUNIOR, G. J.; STRAUSS, S. H.; JAISWAL, P.; GRIMA-PETTENATI, J.; SALSE, J.; PEER, Y. van de; ROKHSAR, D. S.; SCHMUTZ, J. The genome of *Eucalyptus grandis*. **Nature**, v. 510, p. 356-362, 2014. DOI: https://doi.org/10.1038/nature13308.

MYBURG, A. A.; GRIFFIN, A. R.; SEDEROFF, R. R.; WHETTEN, R. W. Comparative genetic linkage maps of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus globulus* and their F1 hybrid based on a double pseudo-backcross mapping approach. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 107, n. 6, p. 1028-42, 2003. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-003-1347-4.

MYBURG, A. A.; POTTS, B. M.; MARQUES, C. M.; KIRST, M.; GION, J.-M.; GRATTAPAGLIA, D.; GRIMA-PETTENATTI, J. *Eucalyptus*. In: KOLE, C. (ed.). **Genome mapping and molecular breeding in plants**. New York: Springer, 2007. p. 115-160. (Forest trees, 7).

MYLES, S. Improving fruit and wine: what does genomics have to offer? **Trends in Genetics**, v. 29, n. 4, p. 190-196, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.tig.2013.01.006.

NEALE, D. B.; KREMER, A. Forest tree genomics: growing resources and applications. **Nature Reviews Genetics**, v. 12, n. 2, p. 111-122, 2011. DOI: https://doi.org/10.1038/nrg2931.

NEVES, L. G.; MAMANI, E. M.; ALFENAS, A. C.; KIRST, M.; GRATTAPAGLIA, D. A high-density transcript linkage map with 1,845 expressed genes positioned by microarray-based Single Feature Polymorphisms (SFP) in *Eucalyptus*. **BMC Genomics**, v. 12, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-189.

NOVAES, E.; DROST, D. R.; FARMERIE, W. G.; PAPPAS JUNIOR, G. J.; GRATTAPAGLIA, D.; SEDEROFF, R. R.; KIRST, M. High-throughput gene and SNP discovery in *Eucalyptus grandis*, an uncharacterized genome. **BMC Genomics**, v. 9, p. 312, 2008. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-312.

PAIVA, J. A. P.; PRAT, E.; VAUTRIN, S.; SANTOS, M. D.; SAN CLEMENTE, H.; BROMMONSCHENKEL, S.; FONSECA, P. G. S.; GRATTAPAGLIA, D.; SONG, X.; AMMIRAJU, J. S. S.; KUDRNA, D.; WING, R. A.; FREITAS, A. T.; BERGÈS, H.; GRIMA PETTENATI, J. Advancing *Eucalyptus* genomics: identification and sequencing of lignin biosynthesis genes from deep-coverage BAC libraries. **BMC Genomics**, v. 12, article 137, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-137.

PAVY, N.; PELGAS, B.; BEAUSEIGLE, S.; BLAIS, S.; GAGNON, F.; GOSSELIN, I.; LAMOTHE, M.; ISABEL, N.; BOUSQUET, J. Enhancing genetic mapping of complex genomes through the design of highlymultiplexed SNP arrays: application to the large and unsequenced genomes of white spruce and black spruce. **BMC Genomics**, v. 9, article 21, 2008. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-21.

PETROLI, C. D.; SANSALONI, C. P; CARLING, J.; MAMANI, E. M. C.; STEANE, D. A.; MYBURG, A. M.; VAILLANCOURT, R. E.; KILIAN, A.; PAPPAS JUNIOR, G. J.; SILVA, O. B. da; GRATTAPAGLIA, D. Genomic characterization, high-density mapping and anchoring of DArT markers to the reference genome of *Eucalyptus*. **BMC Proceedings**, v. 5, suppl. 7, p. P35, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-P35.

PLOMION, C.; BASTIEN, C.; BOEAT-TRIBOULOT, M.-B.; BOUFFIER, L.; DÉJARDIN, A.; DUPLESSIS, S.; FADY, B.; HEUERTZ, M.; LE GAC, A.-L.; LE PROVOST, G.; LEGUÉ, V.; LELU-WALTER, M.-A.; LEPLÉ, J.-C.; MAURY, S.; MOREL, A.; ODDOU-MURATORIO, S.; PILATE, G.; SANCHEZ, L.; SCOTTI, I.; SCOTTI-SAINTAGNE, C.; SEGURA, V.; TRONTIN, J.-F.; VACHER, C. Forest tree genomics: 10 achievements from the past 10 years and future prospects. **Annals of Forest Science**, v. 73, n. 1, p. 77-103, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-015-0488-3.

POKE, F. S.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M.; REID, J. B. Genomic research in *Eucalyptus*. **Genetica**, v. 125, n. 1, p. 79-101, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s10709-005-5082-4.

RESENDE JUNIOR, M. F. R.; MUÑOZ, P.; ACOSTA, J. J.; PETER, G. F.; DAVIS, J. M.; GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V. de; KIRST, M. Accelerating the domestication of trees using genomic selection: accuracy of prediction models across ages and environments. **New Phytologist**, v. 193, n. 3, p. 617-624, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03895.x.

RESENDE, M. D. V. de; LOPES, P. S.; SILVA, R. L. da; PIRES, I. E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, p. 63-77, 2008.

RESENDE, M. D. V. de; RESENDE JUNIOR, M. F. R.; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; MISSIAGGIA, A. A.; AGUIAR, A. M.; ABAD, J. M.; TAKAHASHI, E. K.; ROSADO, A. M.; FARIA, D. A.; PAPPAS JUNIOR, G. J.; KILIAN, A.; GRATTAPAGLIA, D. Genomic selection for growth and wood quality in *Eucalyptus*: capturing the missing heritability and accelerating breeding for complex

traits in forest trees. **New Phytologist**, v. 194, p. 116-128, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.04038.x.

RESENDE, R. T.; RESENDE, M. D. V. de; SILVA, F. F. S.; AZEVEDO, C. F. A.; TAKAHASHI, E. K. T.; SILVA JUNIOR, O. B. da; GRATTAPAGLIA, D. Regional heritability mapping and genome-wide association identify loci for complex growth, wood and disease resistance traits in *Eucalyptus*. **New Phytologist**, v. 213, p. 1287-1300, 2017. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.14266.

RESENDE, R. T.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, F. F.; AZEVEDO, C. F.; TAKAHASHI, E. K.; SILVA JUNIOR, O. B.; GRATTAPAGLIA, D. Assessing the expected response to genomic selection of individuals and families in *Eucalyptus* breeding with an additive-dominant model. **Heredity**, v. 119, p. 245-255, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1038/hdy.2017.37.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F. *Eucalyptus* breeding for clonal forestry. In: FENNING, T. (ed.). **Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st Century**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. p. 393-424.

ROSADO, C. C. G.; GUIMARÃES, L. M. da S.; FARIA, D. A.; RESENDE, M. D. V. de; CRUZ, C. D.; GRATTAPAGLIA, D.; ALFENAS, A. C. QTL mapping for resistance to Ceratocystis wilt in *Eucalyptus*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 12, n. 4, article 72, 2016. 10 p.

SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; CARLING, J.; HUDSON, C. J.; STEANE, D. A.; MYBURG, A. A.; GRATTAPAGLIA, D.; VAILLANCOURT, R. E.; KILIAN, A. A high-density Diversity Arrays Technology (DArT) microarray for genome-wide genotyping in *Eucalyptus*. **Plant Methods**, v. 6, 30 2010. DOI: https://doi.org/10.1186/1746-4811-6-16.

SANSALONI, C.; PETROLI, C.; JACCOUD, D.; CARLING, J.; DETERING, F.; GRATTAPAGLIA, D.; KILIAN, A. Diversity Arrays Technology (DArT) and next-generation sequencing combined: genome-wide, high throughput, highly informative genotyping for molecular breeding of *Eucalyptus*. **BMC Proceedings**, v. 5, suppl. 7, p. P54, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-P54.

SENIOR, M. L.; CHIN, E. C. L.; LEE, M.; SMITH, J. S. C.; STUBER, C. W. Simple sequence repeat markers developed from maize sequences found in the GENBANK database: map construction. **Crop Science**, v. 36, n. 6, p. 1676-1683, 1996. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600060043x.

SILVA-JUNIOR, O. B.; FARIA, D. A.; GRATTAPAGLIA, D. A flexible multi-species genome-wide 60K SNP chip developed from pooled resequencing 240 *Eucalyptus* tree genomes across 12 species. **New Phytologist**, v. 206, n. 4, p. 1527-1540, 2015.

SILVA-JUNIOR, O. B.; GRATTAPAGLIA, D. Genome-wide patterns of recombination, linkage disequilibrium and nucleotide diversity from pooled resequencing and single nucleotide polymorphism genotyping unlock the evolutionary history of *Eucalyptus grandis*. **New Phytologist**, v. 208, n. 3, p. 830-845, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.13505.

SILVA, P. H. M. D.; BRUNE, A.; ALVARES, C.; AMARAL, W.; TEIXEIRA, M.; GRATTAPAGLIA, D.; PAULA, R. C. Selecting for stable and productive families of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake across a country wide range of climates in Brazil. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 49, p. 87-95, 2018. DOI: https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0052.

SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M.; GRATTAPAGLIA, D.; CONTI JUNIOR, J. L. Realized pollen flow and wildling establishment from a genetically modified eucalypt field trial in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 385, p. 161-166, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.043.

SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M.; GRATTAPAGLIA, D. Pollen-mediated gene flow across fragmented clonal stands of hybrid eucalypts in an exotic environment. **Forest Ecology and Management**, v. 356, p. 293-298, 2015a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.12.005.

SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M.; GRATTAPAGLIA, D.; SEBBENN, A. M. Use of genetic markers to build a new generation of *Eucalyptus pilularis* breeding population. **Silvae Genetica**, v. 64, n. 4, p. 170-181, 2015. 2015. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2015-0016.

STEANE, D. A.; NICOLLE, D; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; CARLING, J.; KILIAN, A.; MYBURG, A. A.; GRATTAPAGLIA, D.; VAILLANCOURT, R. E. Population genetic analysis and phylogeny reconstruction in *Eucalyptus* (Myrtaceae) using high-throughput, genome-wide genotyping. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 59, n. 1, p. 206-224, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.02.003.

STRAUSS, S. H.; LANDE, R.; NAMKOONG, G. Limitations of molecular-marker-aided selection in forest tree breeding. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 22, n. 7, p. 1050-1061, 1992. DOI: https://doi.org/10.1139/x92-140.

TAN, B.; GRATTAPAGLIA, D.; MARTINS, G. S.; FERREIRA, K. Z.; SUNDBERG, B.; INGVARSSON, P. K. Evaluating the accuracy of genomic prediction of growth and wood traits in two *Eucalyptus* species and their F1 hybrids. **BMC Genomics**, v. 17, p. 110, 2017. DOI: https://doi.org/10.1186/s12870-017-1059-6.

TAN, B.; GRATTAPAGLIA, D.; WU, H. X.; INGVARSSON, P. K. Genomic relationships reveal significant dominance effects for growth in hybrid *Eucalyptus*. **Plant Science**, v. 267, p. 84-93, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.11.011.

TARAMINO, G.; TINGEY, S. Simple sequence repeats for germplasm analysis and mapping in maize. **Genome**, v. 39, n. 2, p. 277-87, 1996. DOI: https://doi.org/10.1139/g96-038.

TELFER, E. J.; STOVOLD, G. T.; SILVA-JUNIOR, O. B.; GRATTAPAGLIA, D.; DUNGEY, H. S. Parentage reconstruction in *Eucalyptus nitens* using SNPs and microsatellite markers: a comparative analysis of marker data power and robustness. **PLoS One**, v. 10, n. 7, p. e0130601, 2015. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130601.

TORRES-DINI, D.; NUNES, A. C. P.; AGUIAR, A. V.; NIkICHUCK, A. V.; CENTURIÓN, C.; CABRERA, M.; MORAES, M. L. T.; RESENDE, M. D .V.; SEBBENN, A. M. Clonal selection of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus globulus* for productivity, adaptability, and stability, using SNP markers. **Silvae Genetica**, v. 65, n. 2, p. 30, 2016. DOI: https://doi.org/10.1515/sg-2016-0014.

TUSKAN, G. A.; GROOVER, A. T.; SCHMUTZ, J.; DIFAZIO, S. P.; MYBURG, A.; GRATTAPAGLIA, D.; SMART, L. B.; YIN, T.; AURY, J.-M.; KREMER, A.; LEROY, T.; LE PROVOST, G.; PLOMION, C.; CARLSON, J. E.; RANDALL, J.; WESTBROOK, J.; GRIMWOOD, J.; MUCHERO, W.; JACOBSON, D.; MICHENER, J. K. Hardwood tree genomics: unlocking woody plant biology. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01799.

VAN EENENNAAM, A. L.; WEIGEL, K. A.; YOUNG, A. E.; CLEVELAND, M. A.; DEKKERS, J. C. M. Applied animal genomics: results from the field. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 2, p. 105-139, 2014. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022513-114119.

VERHAEGEN, D.; PLOMION, C. Genetic mapping in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* using RAPD markers. **Genome**, v. 39, p. 1051-1061, 1996.

VERHAEGEN, D.; PLOMION, C.; GION, J.-M.; POITEL, M.; COSTA, P.; KREMER, A. Quantitative trait dissection analysis in *Eucalyptus* using RAPD markers, 1. Detection of QTL in interspecific hybrid progeny, stability of QTL expression across different ages. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 95, p. 597-608, 1997. DOI: https://doi.org/10.1007/s001220050601.

WEISSENBACH, J.; GYAPAY, G.; DIB, C.; VIGNAL, A.; MORISSETTE, J.; MILLASSEAU, P.; VAYSSEIX, G.; LATHROP, M. A 2nd-generation linkage map of the human genome. **Nature**, v. 359, n. 6398, p. 794-801, 1992. DOI: https://doi.org/10.1038/359794a0.

WHITE, T. L.; ADAMS, W. T.; NEALE, D. B. **Forest Genetics**. Cambridg: CABI Publishing, 2007. 682 p.

WILLIAMS, C. G.; NEALE, D. B. Conifer wood quality and marker-aided selection: a case-study. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 22, n. 7, p. 1009-1017, 1992. DOI: https://doi.org/10.1139/x92-135.

ZARPELON, T. G.; GUIMARÃES, L. M. S.; COUTINHO, M. M.; CÁPUA NETO, B.; FARIA, D. A.; GRATTAPAGLIA, D.; ALFENAS, A. C. QTL associated with resistance to defoliation (*Cylindrocladium pteridis*) in *Eucalyptus* spp. **BMC Proceedings**, v. 5, n. 7, p. P27, 2011. DOI: https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S7-P27.

ZARPELON, T. G.; GUIMARÃES, L. M. da S.; FARIA, D. A.; COUTINHO, M. M.; CÁPUA NETO, B.; TEIXEIRA, R. U.; GRATTAPAGLIA, D.; ALFENAS, A. C. Genetic mapping and validation of QTLs associated with resistance to Calonectria leaf blight caused by Calonectria pteridis in *Eucalyptus*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 11, n. 1, p. 803, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-014-0803-4.

5

Manuseio de pólen e produção de híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*

Valderês Aparecida de Sousa
Ananda Virgínia de Aguiar
José Elidney Pinto Júnior

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Embora o melhoramento florestal seja considerado uma ciência nova no Brasil, se comparado a outros países, o País hoje é referência, principalmente, na silvicultura de *Eucalyptus*. Assim como para outras espécies florestais, as estratégias de melhoramento genético visam ao aumento de produtividade e redução dos efeitos ambientais extremos, sendo baseadas em diferentes populações de melhoramento, cruzamentos, métodos e intensidades de seleção para aumentar a frequência dos alelos de interesse (Resende, 2000).

No Brasil, o melhoramento de eucaliptos atende aos segmentos mais importantes da indústria de madeira, papel e celulose e carvão, além de ser utilizado para inúmeras outras finalidades, como postes, bioenergia, cercas etc. (Assis; Resende, 2011). O País tem-se destacado, em nível mundial, pela produtividade alcançada aos plantios de *Eucalyptus,* com características da madeira que possibilitam inúmeros usos e ao incentivo em pesquisas focado na silvicultura, principalmente no melhoramento genético (Castro et al., 2016). Além disso, Assis e Resende (2011) ressaltam a identificação de espécies promissoras para as diferentes condições ambientais de plantio, como uma das ações significativas para o aumento de produtividade, devido às condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da cultura em latitudes semelhantes àquelas da Austrália.

Os primeiros plantios comerciais, a partir da década de 1960, foram implantados com mudas seminais, que resultavam em baixa produtividade e problemas com patógenos. Nas décadas de 1960 a 1970, as pesquisas foram concentradas no estabelecimento de testes de espécies e procedências com material originário, especialmente, da Austrália. Desde 1980, foram implementados os testes de progênies empregando-se a seleção recorrente intrapopulacional (Kageyama; Vencovsky, 1983), quando foram iniciados os estudos para o desenvolvimento de híbridos interespecíficos, como alternativa para reduzir a suscetibilidade às doenças e incrementar o potencial produtivo de *Eucalyptus* (Assis, 1987; Martins; Ikemori, 1987). A partir desse período até 1995, esforços foram concentrados na condução de cruzamentos controlados e na propagação vegetativa, possibilitando a uniformidade dos plantios, maior sobrevivência e ganhos expressivos de produtividade. Também, diversas estratégias e métodos de seleção foram propostos e aplicados (Resende et al., 1990; Resende; Higa, 1994; Resende; Barbosa, 2005, Resende, 2007; White et al. 2007; Rodrigues et al., 2008; Rosado et al., 2009; Massaro et al., 2010).

Na década de 1990 adotou-se a seleção recorrente recíproca e o desenvolvimento de híbridos entre espécies divergentes, além da produção de mudas clonais ao invés de seminais (Assis, 1996; Ferreira; Santos, 1997). A partir de 2000, incorporou-se, também, o desenvolvimento de híbridos interespecíficos e a técnica de clonagem

(Assis et al., 1992, Xavier; Comério, 1996, Assis, 1996, 2000, 2001; Higashi et al., 2000a, 2000b).

O uso de modelos experimentais e genético-estatísticos para os testes de progênies foi essencial para a estimativa de parâmetros genéticos e à obtenção de ganhos genéticos significativos no melhoramento do eucalipto. Atualmente, os programas de melhoramento baseiam-se na seleção das populações parentais e híbridas sintéticas, onde novos clones elites são incorporados anualmente ou a cada geração (seleção recorrente intrapopulacional, em população sintética) (Resende; Barbosa, 2005). Ademais, tem-se verificado a necessidade de retomar os programas de melhoramento por espécie, para obtenção de híbridos interespecíficos mais produtivos.

Paralelamente ao melhoramento genético florestal das espécies e híbridos de eucaliptos, outras práticas silviculturais também contribuíram efetivamente para o Brasil se destacar na produção de matéria-prima do gênero, com espécies alcançando produtividades médias anuais de até 36 m^3 ha^{-1} nos últimos anos, com o uso de estatísticas biométricas, ferramentas moleculares e propagação vegetativa e indução de florescimento precoce (Griffin et al., 1993; Resende et al., 2008; Fonseca et al., 2010; Grattapaglia; Resende, 2010; IBÁ, 2019).

Na atualidade, diversas ferramentas biotecnológicas são aplicadas ao melhoramento genético do eucalipto, visando reduzir o ciclo de melhoramento, a obtenção de valores genéticos e genotípicos mais acurados e a obtenção de ganhos mais expressivos e confiáveis. Atualmente, os incrementos de produtividade volumétrica de madeira têm sido menores que aqueles obtidos 45 anos atrás, porém, outras características qualitativas da madeira apresentam potencial a ser melhorado (Assis; Resende, 2011).

Como suporte aos programas de produção de híbridos, foi necessário o desenvolvimento da tecnologia de polinização controlada e manuseio do pólen para as espécies, individualmente. O conhecimento da biologia de reprodução é indispensável para esses procedimentos. Para o gênero *Eucalyptus,* metodologias atualmente utilizadas podem ser aperfeiçoadas, visando aumentar a eficiência dos programas de hibridação. Os protocolos de manuseio de pólen (coleta, secagem, armazenamento e testes de viabilidade), além de metodologia para a polinização controlada, vêm sendo definidos pelas pesquisas da Embrapa Florestas.

Híbridos de *Eucalyptus* spp. e seu potencial

O conceito de produtividade varia de acordo com as diversas finalidades. Para a produção de celulose, é relacionada a produção volumétrica, densidade da madeira e produção de lignina. A produção de carvão é expressada pela produção de carbono por hectare que, por sua vez, encontra-se relacionada diretamente ao volume, densidade da madeira, rendimento gravimétrico, além da resistência mecânica e granulometria.

Tendo em vista o uso industrial de toras na serraria, o colapso da fibra, a deformação, o enrolamento e a espiral, são importantes. Finalmente, os aspectos silviculturais como a adaptação às condições edafoclimáticas, forma do fuste, número e quantidade de galhos, bifurcação do fuste, pragas e doenças etc (Assis; Resende, 2011) devem ser considerados. Portanto, é importante considerar tanto os aspectos produtivos quanto os econômicos no desenvolvimento de híbridos.

Dentre as espécies de *Eucalyptus* utilizadas para a produção de híbridos, *E. urophylla* é a mais comum e se cruza facilmente com outras espécies. Sendo assim, tem sido utilizada amplamente para a produção de híbridos com diferentes características (Hodge; Dvorak, 2015). O híbrido de *E. urophylla* e *E. grandis* tem sido muito propagado comercialmente no hemisfério Sul, principalmente para a produção de celulose e de madeira maciça. Híbridos de *E. urophylla* x *E. pellita* e *E. urophylla* x *E. brassiana* já foram testados, sendo o primeiro na República do Congo e na Indonésia (Vigneron et al., 2000) e o último plantado comercialmente na região Nordeste do Brasil, como fonte de madeira de alta densidade para bioenergia. *E. benthamii* e *E. dunnii* também foram cruzados com *E. urophylla* e estão sendo testados nas áreas mais frias da América do Sul. Nesse caso, *E. urophylla* contribui para o incremento do crescimento e melhor capacidade de enraizamento do híbrido (Hodge; Dvorak, 2015).

A potencialidade de *E. urophylla* para a produção de sementes híbridas deve-se à variação genética para volume constatada entre procedências e progênies em mais de 125 testes estabelecidos em cinco países (Hodge; Dvorak, 2015). Procedências das ilhas da Indonésia onde a espécie ocorre originalmente, num total de sete, foram incluídas nesses ensaios. As melhores procedências, em termos de crescimento e sobrevivência, apresentaram volume de madeira variando de 25% a 30% superior à média. De acordo com Hodge e Dvorak (2015), procedências de menores altitudes mostraram maior crescimento, sendo que estas procedências apresentaram resultados muito próximos.

O uso de diversos híbridos de *Eucalyptus* também tem sido observado em várias partes do mundo, para a produção de madeira, tendo em vista as diferentes finalidades, principalmente celulose. No Sudeste da China, por exemplo, *E. urophylla* e seus híbridos são cultivados devido à sua performance de crescimento, forma do fuste e porcentagem de sobrevivência (Wang; Yang, 1996). Na África do Sul e Nova Zelândia os plantios são estabelecidos com híbridos de *E. grandis* e outras espécies (Verryn et al., 1996; Connochie; Shelbourne, 1996). O híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* é plantado comercialmente em quase todas as regiões brasileiras e no Congo (Wang; Yang, 1996; Vigneron et al., 2000). No Congo verificou-se a presença de heterose para o incremento volumétrico de madeira nos cruzamentos de *Eucalyptus* 12 ABL (clone do Congo) x *E. saligna* e *E. platyphylla* x *E. urophylla* (Chaperon, 1977). Clones de híbridos têm sido estabelecidos na Austrália, em sítios com precipitação pluviométrica baixa à moderada (500-750 mm), sendo eles: *E. camaldulensis* x *E. globulus, E.*

benthamii, E. botryoides e *Corymbia maculata*, para crescimento e *E. camaldulensis* × *E. grandis, E. camaldulensis* × *E. globulus*, *E. benthamii*, *C. maculata* e *C. variegata* para forma do fuste (Marcar et al., 2011).

Possibilidades de cruzamentos

A compatibilidade e as diferenças genéticas entre espécies do gênero *Eucalyptus* e *Corymbia* têm permitido inúmeras combinações viáveis, mediante cruzamentos. A complementariedade genética e fenotípica tem propiciado ganhos expressivos na produção e qualidade da madeira. Dessa forma, a demanda com o intuito de produzir híbridos é acentuada para esse gênero. Na maioria das vezes, busca-se a heterose ou vigor híbrido. Os plantios comerciais hoje são estabelecidos praticamente com clones de híbridos interespecíficos. A combinação híbrida de eucalipto mais conhecida e bem-sucedida no Brasil é entre E. *grandis* x *E. urophylla*, que compõe uma grande parte dos plantios comerciais estabelecidos. Esse cruzamento tem apresentado boa capacidade de combinação. Atualmente, inúmeras combinações são realizadas e testadas em campo para diversos propósitos, tais como produtividade, resistência à seca e ao frio, além de pragas e doenças. Para a qualidade da madeira, as combinações com maior potencial são: *E. globulus* x *E. urophylla*; *E. dunnii* x *E. urophylla*; *E. urophylla* x *E. smithii*. Para produção de carvão vegetal, sobressaem: *E. camaldulensis* x *E. urophylla; E. tereticornis* x *E. urophylla; E. brassiana* x *E. urophylla; E. grandis* x *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. pellita.* Segundo Assis e Mafia (2007), a experiência com a produção de híbridos mostra que a manifestação da heterose depende do local e também da afinidade genética entre as espécies. Baseados na compatibilidade de cruzamentos entre as diferentes seções (Transversaria e Maidenaria) e nas características de interesse, a Embrapa Florestas recomenda os seguintes híbridos, definidos para as diferentes situações:

Produtividade e resistência à umidade

E. torelliana x *Corymbia citriodora.* Híbrido de grande importância para o futuro, considerando que, em função das mudanças climáticas globais, a precipitação pluviométrica poderá ser incrementada em algumas regiões. Além disso, segundo Alfenas et al. (2009) e Ferreira e Milani (2002), essas espécies são resistentes à ferrugem, doença causada pelo fungo *Puccinia psiddi*.

Produtividade e resistência à seca

Algumas espécies têm sido indicadas para a resistência à seca, como aquelas da seção Exertaria, sendo elas: *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E. brassiana*, bem como

os híbridos (clones) entre *E. camaldulensis* x *E. grandis* e (*E. grandis* x *E. urophylla*) x *E. camaldulensis*; *E. urophylla* x *E. brassiana; E. tereticornis* x *E. brassiana; E. pellita* x *E. brassiana* e *E. pellita* x *E. grandis.*

Esses cruzamentos têm sido conduzidos com frequência no Brasil, de acordo com Verryn (2000). Além disso, para a Embrapa Florestas, esses mesmos cruzamentos são de importância estratégica, considerando-se o aquecimento global e a possibilidade do incremento das regiões com deficiência hídrica.

Produtividade e resistência ao frio

São poucos os materiais genéticos aptos a atender as demandas das regiões com baixas temperaturas, principalmente onde a ocorrência de geada é mais intensa. As da seção Maidenaria são indicadas para resistência ao frio (*E. viminalis*, *E. nitens*, *E. smithii*, *E. benthamii*, *E. badjensis* e *E. dunnii*). As três últimas espécies são as mais estudadas e plantadas no Sul do Brasil para resistência ao frio (Paludzyszyn Filho et al., 2005, 2006). Os híbridos *E. grandis* x *E. viminalis* e *E. urophylla* x *E. viminalis* são indicados para as regiões mais frias. Outras combinações híbridas também devem ser testadas para resistência ao frio, como: *E. urophylla* x *E. dunnii; E. benthamii* x *E. dunnii; E. grandis* x *E. dunnii;* e *E. benthamii* x *E. badjendis.*

Eucalyptus benthamii tem apresentado grande potencial para plantios em áreas de ocorrência de geadas severas (Higa; Carvalho, 1990; Higa, 1999; Silva, 2008). Porém, essa espécie apresenta algumas características relacionadas à qualidade da madeira que precisam ser analisadas mais adequadamente, visando atender à demanda do mercado para celulose e madeira para desdobro, sendo atualmente mais indicada para fins energéticos (Lima et al., 2007). A produção de híbridos dessa espécie com espécies mais produtivas deve ser o enfoque dos programas de melhoramento para as regiões de clima temperado, uma vez que combina características desejáveis de crescimento e resistência ao frio.

As regiões sujeitas às geadas frequentes limitam o bom desempenho e a sobrevivência da maioria das espécies de *Eucalyptus*. Segundo Assis e Mafia (2007), a hibridação, além de proporcionar a síntese de indivíduos resistentes ao meio ambiente, poderá produzir indivíduos com facilidade de serem clonados, uma vez que praticamente todas as espécies tolerantes ao frio são recalcitrantes ao enraizamento. Nesse sentido, é importante o avanço do programa de propagação vegetativa, antecipando possíveis problemas que possam surgir com os novos genótipos desenvolvidos.

Híbridos para produção de carvão vegetal

Para atender à demanda da siderurgia e carvão vegetal, a madeira deve apresentar propriedades tecnológicas específicas, como: rendimento gravimétrico, densidade, teor de carbono fixo, poder calorífico, resistência mecânica etc.

Para o carvão vegetal, as espécies da secção Exertaria são as mais indicadas, como *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E. brassiana*. A secção Transversaria apresenta algumas limitações, como a densidade da madeira (*E. grandis* e *E. urophylla*) e propriedades mecânicas do carvão (*E. pellita*, *E. resinifera* e *E. robusta*).

Híbridos para resistência às doenças

O cancro do eucalipto (*Chrysoporthe cubensis*) é uma das doenças mais impactantes, sendo um grande problema. As espécies com maior resistência em relação à essa doença são *E. pellita, E. urophylla*, *E. robusta* e *E. resinifera* (Ferreira; Milani, 2002; Alfenas et al., 2009). Com relação à ferrugem, as principais fontes de resistência são encontradas nas espécies *E. pellita*, *E. resinifera*, *E. robusta*, *E. saligna, E. tereticornis,* e *E. urophylla* (Ferreira; Milani, 2002; Alfenas et al., 2009). Outras espécies de fungos causadores de doenças em *Eucalyptus* spp. vêm sendo detectadas, principalmente, quando os plantios são estabelecidos em condições edafoclimáticas não adequadas ao desenvolvimento das plantas, como as manchas foliares e outras (Auer; Santos, 2009a, 2009b, 2009c, 2011; Soares et al., 2017). As espécies *E. brassiana*, *E. agglomerata* e *E. saligna* apresentaram resistência à mancha foliar (*Calonectria pteridis*) (Alfenas et al., 2016) Híbridos resistentes a essas doenças poderão também ser desenvolvidos no futuro, conforme a demanda do setor florestal.

Heterose híbrida

A hibridação interespecífica de *Eucalyptus* tem sido a maneira mais rápida e eficiente para a obtenção de efeito de heterose funcional, indivíduos mais produtivos para diferentes finalidades e, consequentemente, ganhos genéticos aos programas de melhoramento. Essa técnica associada à clonagem foi a maior precursora do sucesso da eucaliptocultura no Brasil. Por meio desse procedimento, é possível a complementaridade das características de crescimento, qualidade da madeira (celulose, carvão vegetal, compensados e laminados de madeira e serraria), resistência aos fatores bióticos (pragas e doenças), além da obtenção da heterose (vigor de híbrido).

O vigor híbrido em cruzamentos interespecíficos de eucalipto é relatado desde a década de 1960, por inúmeros autores (Boden, 1964; Venkatesh; Sharma, 1977a, 1977b, Griffin et al., 2000; Gwaze et al., 2000; Verryn, 2000; Vigneron et al., 2000; Rezende; Resende, 2000; Potts; Dungey, 2004; Retif; Stanger 2009).

A heterose dos híbridos interespecíficos depende dos efeitos genéticos não aditivos, especialmente os dominantes (Khurana; Khosla, 1998; Dieters; Dungey 2000; Madhibha et al., 2013), ou da combinação positiva de características complementares, que são os efeitos genéticos aditivos (Martin, 1989; Nikles; Griffin ,1991; Verryn, 2000).

A heterose devido à dominância (Nikles; Griffin, 1992) refere-se à complementaridade de genomas, em que a expressão intermediária de caracteres é superior no híbrido, devido à expressão extrema dos caracteres em um ancestral da espécie (Nicholas, 1987), exploração de maior diversidade alélica a partir da recombinação e seleção dentro de híbridos ou de geração avançada (Falconer; Mackay, 1996; Kerr et al., 2004b; Potts; Dungey, 2004). De acordo com Madhibha et al. (2013), quando a dominância em uma população é alta, esse efeito pode ser alto para as famílias híbridas.

A complementaridade (heterose complementar) parece ser o ponto chave dos híbridos de eucalipto (Nikles; Griffin, 1991), tal como o híbrido de *E. urophylla* e *E. grandis,* onde a resistência ao cancro advinda de *E. urophylla* e o crescimento de *E. grandis*, pode ter sido resultado de efeitos multiplicativos de características herdadas aditivamente (Campinhos; Ikemori, 1989; Vigneron et al., 2000).

Considera-se, ainda, que os ganhos genéticos semelhantes aos dos híbridos interespecíficos poderiam ser alcançados simplesmente com a remoção do efeito da endogamia por vasto cruzamento intraespecífico (Potts et al., 1992).

A heterose tem sido observada tanto em híbridos artificiais quanto nos naturais, via polinização livre. Por exemplo, o desempenho médio de 15 híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* para circunferência à altura do peito foi, em média, 38,7% maior do que as progênies puras (Trindade et al., 2001). A heterose também foi observada nos cruzamentos entre *E. grandis* x *E. urophylla* (Campinhos Júnior; Ikemori, 1977), *E. urophylla* x *E.* grandis, *E. urophylla* x *E. maidenii, E. dunnii* x *E. maidenii* (Assis, 2000), *C. citriodora* x *C. torelliana* (Assis, 1985), *E. urophylla* x *E. tereticornis* e *E. urophylla* x *E. camaldulensis* (Shen, 2000), dentre outros.

Além da polinização controlada, plantios intercalados com diferentes espécies de *Eucalyptus* têm sido realizados para a obtenção de sementes híbridas a partir da polinização livre (Oda; Ferreira, 1983; Assis; Mafia, 1987). Porém, não se recomenda esse procedimento para espécies com defasagem de florescimento.

Barreiras reprodutivas

O conhecimento prévio das barreiras reprodutivas entre indivíduos de diferentes espécies é necessário para o sucesso, tanto das combinações interespecíficas quanto dos plantios comerciais. As barreiras pré e pós-zigóticas impedem a utilização do vigor híbrido entre inúmeras espécies de *Eucalyptus* (Pryor, 1957; Gore et al., 1990; Ellis et al., 1991). De maneira geral, os principais subgêneros são isolados reprodutivamente e, dentro desses, as espécies com maior distância taxonômica apresentam barreiras mais significativas. Espécies de uma mesma subseção apresentam menores barreiras pré-zigóticas após os cruzamentos (Cauvin, 1983; Potts et al., 1987; Tibbits, 1989). Essas barreiras encontram-se relacionadas, em sua maioria, às barreiras fisiológicas

que resultam em anormalidades no desenvolvimento do tubo polínico (Ellis et al., 1991, Potts; Dungey, 2004). Espécies pertencentes à mesma subsérie ou subseção, como *E. globulus* e *E. nitens* (Subgenus Symphyomyrtus, Series Viminales, Subseries Globulinae), apresentam maior chance de gerar sementes híbridas com bom potencial produtivo e resistência às pragas (Pryor; Johnson, 1971). Porém, barreiras relativas ao tamanho das estruturas reprodutivas podem dificultar a polinização dessas espécies. *E. nitens*, por exemplo, deve ser sempre utilizado como genitor, por apresentar estruturas reprodutivas menores que *E. globulus* (Gore et al., 1990).

Certamente, um determinado grau de divergência genética/taxonômica é esperado para o sucesso nos cruzamentos e na expressão do vigor híbrido, resultante da expressão por endogamia em um extremo e dos efeitos dos cruzamentos interespecíficos no outro (Potts et al., 1987; Potts et.,1992).

As anormalidades deletérias ocorrem, em proporções significativas, nas famílias híbridas, principalmente entre *E. globulus, E. nitens,* e *E. bicostata*, se expressando em diferentes estágios do ciclo da vida (Potts et al., 1992). O mecanismo genético da expressão dessas anormalidades é diferente da endogamia, não sendo previsível.

Alguns problemas têm sido observados para os híbridos. Um deles se refere à baixa produção de sementes viáveis para atender às demandas dos plantios. Além disso, a produção de sementes híbridas entre as espécies relacionadas é menor (16% a 35%) que as de polinizações intraespecíficas. Adicionalmente, as anormalidades e mortalidades das mudas podem ser de três a quatro vezes maiores em progênies híbridas. Para que o sucesso ocorra no plantio de híbridos é necessário testá-los, juntamente com os pais, em diversos ambientes (Martin, 1989). Para a utilização em plantios comerciais, os híbridos devem ser validados. Sendo assim, o desenvolvimento de híbridos interespecíficos deve focar nas espécies com facilidade na propagação vegetativa por estaquia. A clonagem (micropropagação), quando conduzida, deve ser realizada diretamente das sementes, para se evitar a obtenção de material vegetativo estéril. Todavia, quando se conduz a clonagem em idade precoce, uma porcentagem significativa de anormalidades pode ser incorporada, se comparadas às idades mais avançadas.

Polinização controlada

Técnicas empregadas

A polinização controlada, realizada desde 1950 (Pryor, 1951), vem sendo uma das ferramentas mais importantes nos programas de melhoramento genético de *Eucalyptus* spp., por propiciar ganhos rápidos. Constitui-se na principal ferramenta

para a obtenção de híbridos interespecíficos com problemas de defasagem de florescimento e diferenças na morfologia floral (Volker et al., 1988).

Eucalyptus spp. é protândrico e, sendo assim, as técnicas de polinização controlada inicialmente envolviam o isolamento das flores, para evitar a contaminação das sementes híbridas produzidas. Para a utilização desse método eram necessárias três visitas, sendo: 1) remoção de flores abertas e botões jovens e emasculação de flores próximas à abertura e isolamento (com sacos) para evitar a contaminação dessas flores com pólens indesejáveis; 2) polinização controlada no momento da máxima receptividade do estigma, com a retirada dos sacos, aplicação de pólen aos estigmas e reensacamento; e 3) remoção dos sacos uma semana após a polinização (Van Wyk, 1977).

A técnica de polinização em uma única etapa (*One Step Pollination* - OSP) proposta por Harbard et al. (1999) e testada por Assis et al. (2005), induzindo à protoginia, viabilizou economicamente a polinização controlada do eucalipto, por reduzir o número de visitas para apenas uma, como observado em pomares de sementes de *E. globulus* no Chile. Portanto, em uma única etapa emascula-se o botão pré-receptivo, corta-se o topo do estigma, permitindo que a secreção intracelular seja liberada, viabilizando-se, assim, a aderência dos grãos de pólen depositados. A seguir, procede-se à cobertura do estilete, cortado e polinizado, com um tubo plástico ou, ainda, cobre-se a flor com sacos de isolamento (Harbard et al., 1999; Williams et al., 1999). O pólen utilizado deve ser reumidificado por 24 horas, caso esteja armazenado. Trindade et al. (2001) observaram que o crescimento do tubo polínico nessa circunstância é mais rápido do que em condições normais de maturação, constituindo-se em mais uma vantagem desse método. Não é necessária a revisão do trabalho até a colheita da cápsula (Harbard et al., 1999). Dessa forma, tem-se menos trabalho, reduzindo-se os custos. Segundo Espejo et al. (2001), esta metodologia tem sido aplicada para produzir sementes de cruzamentos elites para plantios comerciais no Chile, Portugal e Austrália. No Brasil, essa técnica tem sido empregada com sucesso e, de acordo com Assis e Mafia (2007), a polinização controlada foi viabilizada de maneira mais eficiente para atender à produção de híbridos, comercialmente. Todavia, para as espécies de *Eucalyptus* de flores pequenas, como *E. nitens*, essa técnica não funciona, pois produz uma quantidade de sementes inaceitavelmente baixa, de acordo com Williams et al. (1999) mas, essa metodologia se mostrou eficiente para material não melhorado de *E. globulus* (Harbard et al., 1999; Williams et al., 1999).

Propagação vegetativa e pomar indoor e outdoor

Com a utilização de híbridos, surgiu a necessidade de alavancar a propagação vegetativa para assegurar o aproveitamento da heterose e a produção massiva de mudas, tendo em vista atender às demandas dos plantios comerciais. Frequentemente, a impossibilidade de clonagem dos híbridos tem sido a maior restrição do uso desses

materiais em grande escala. Portanto, a propagação vegetativa tornou-se extremamente necessária para atender essa demanda, tendo viabilizado, com grande sucesso, os programas de produção e uso de híbridos do eucalipto, potencialmente com maiores ganhos genéticos obtidos. A propagação vegetativa tem sido eficiente para uniformizar e incrementar a produtividade, bem como reduzir o ciclo de melhoramento genético, especialmente no processo de seleção e multiplicação de híbridos inter e intraespecíficos. Ademais, a propagação assexuada permitiu o plantio de genótipos em sítios específicos e, consequentemente, um maior incremento da produtividade (Madhibha et al., 2013).

Por outro lado, a produção de sementes híbridas, para atender a demanda da silvicultura comercial ainda é extremamente insuficiente e onerosa (Madhibha et al., 2013). Portanto, o desenvolvimento de um híbrido depende da possibilidade de propagação vegetativa bem-sucedida (Assis, 2000). O enraizamento de estacas e miniestacas, bem como a propagação in vitro a partir de gemas e raízes adventícias são os meios mais usados na eucaliptocultura (Santos et al., 2005).

Algumas espécies e genótipos de *Eucalyptus*, assim como híbridos, apresentam maior facilidade à propagação vegetativa do que outras, como *E. urophylla* e seus híbridos. Para outras espécies, o processo de enraizamento é muito difícil, tal como *E. benthamnii*, e requer um investimento maior em pesquisas e infraestrutura. Portanto, a qualidade do sistema radicular é um indicativo fiel ou representativo do tipo de plantio adotado ao(s) clone(s).

Por sua vez, o processo de micropropagação, apesar de eficiente, ainda é oneroso para algumas empresas. Anteriormente, a produção de mudas de eucalipto em larga escala, por empresas brasileiras de papel e celulose, era realizada pelo enraizamento de estacas e produção de material clonal de plantas-mães selecionadas em testes de procedências e progênies, clonais ou povoamentos comerciais (Watt et al., 2012). A partir de 2000, com a evolução dos jardins clonais por várias empresas florestais, com material rejuvenescido da propagação in vitro (micropropagação), a produção de mudas clonais se tornou mais eficiente (Gonçalves, 1980; Higashi et at., 2000a; Santos et al., 2005). Assim, materiais clonais micropropagados de segmentos nodais, a partir de várias subculturas, são implantados, enraizados na estufa sob neblina e transferidos para o jardim microclonal (Iannelli et al., 1996, Santos et al., 2005). As principais vantagens desse método, segundo algumas empresas, são: (i) redução do ciclo de melhoramento genético, (ii) a porcentagem de enraizamento incrementa, quando esse tipo de estaca é usada; (iii) aumento da taxa de sobrevivência; (iv) o período de execução da propagação reduz de 90-120 dias para 75-85 dias; (v) redução do investimento em estruturas (estufas) etc. (Watt et al., 2012).

Devido ao porte elevado das árvores adultas de *Eucalyptus*, a polinização controlada é muito complicada e onerosa. Para viabilizar esse procedimento, tem sido utilizada com sucesso a construção de pomares *indoor* ou *outdoor*, empregando-se

enxertos de genótipos selecionados nos testes de progênies e, geneticamente divergentes.

A opção por um desses tipos de pomar vai depender das condições climáticas do local, onde será estabelecida a estrutura, e da disponibilidade de mão de obra. Em região de clima subtropical, é necessário assegurar às espécies tropicais envolvidas um intervalo de temperatura adequado à sobrevivência das mesmas. Para isso, poderão ser construídas duas estruturas: uma simples, com controle de umidade e sistema de fertirrigação, e outra com controle adicional de temperatura. Além disso, poderá ser incluída uma área com solo coberto com brita para o deslocamento das plantas envasadas, quando as mesmas não estiverem florescendo ou sendo polinizadas.

Uma estrutura simples de casa de vegetação poderá ser feita, utilizando-se alguma estrutura já existente ou construindo-se uma estrutura com piso de concreto, telado nas laterais e cobertura do tipo duas águas ou em arco, com sistema de fertirrigação.

Modelo de cruzamentos e procedimentos estatísticos

Os dialelos são delineamentos utilizados para melhor controle das combinações interespecíficas, bem como para estimativas de parâmetros genéticos utilizados para definir os principais genitores em hibridações. Quanto maior a divergência genética entre as espécies, maior será a probabilidade de obter vigor híbrido. Assim, as capacidades específicas e geral de combinação poderão ser preditas a partir desses delineamentos de cruzamentos. Os marcadores moleculares são uma ferramenta que pode ser usada para nortear, a priori, a escolha dos genitores para os cruzamentos controlados. Alguns fatores que influenciam negativamente essa escolha são: a falta de ligação entre marcadores e os genes dos caracteres; diferenças nas contribuições dos locos para a característica e a relação baixa ou média entre a divergência genética e a performance híbrida, não sendo útil para a predição, devido à baixa correlação entre a matriz de divergência genética e a capacidade específica, bem como a falta de informação acurada relacionada ao efeito da dominância. Porém, com as novas tecnologias genômicas, essa informação poderá ser mais precisa e assertiva.

Dentre os delineamentos usados destaca-se o dialelo parcial, modelo adaptado por Griffin (1956). O uso de cruzamentos dialélicos entre clones das espécies permite avaliar a capacidade de combinação, verificar o melhor testador para futuros trabalhos de melhoramento, assim como inferir a respeito do tipo de efeito gênico presente na expressão dos caracteres envolvidos.

Para o desenvolvimento de híbridos intraespecíficos, uma ótima opção é o delineamento em "V", que deve ser usado para os genitores com maiores valores genéticos aditivos na população de melhoramento (Tabela 1), permitindo o cruzamento dos genitores mais vezes. Essa é uma forma de aumentar a probabilidade de obter indivíduos excepcionalmente superiores nas progênies. Considerando os dez melhores genitores da população, ordenados de acordo com os seus valores genéticos

preditos, o delineamento em V, apresentado a seguir, permite definir os cruzamentos a serem realizados, quando o número total deles é fixado em 25. O delineamento para a obtenção de 25 híbridos interespecíficos será o fatorial 5 x 5, que equivale ao dialélico parcial desconexo com 10 genitores (Tabela 1) (Resende, 2002).

Tabela 1. Delineamento em V para a obtenção de 25 indivíduos híbridos por cruzamento interespecífico (White et al., 2007) modificado por Resende (2002).

Genitor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		X	X	X	X	X	X	X	X	X
2			X	X	X	X	X	X	X	
3				X	X	X	X	X		
4					X	X	X			
5						X				
6										
7										
8										
9										
10										

Neste caso, apenas os melhores cruzamentos são realizados e o números de cruzamentos por genitor são indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos melhores cruzamentos e do número de genitores por cruzamento.

Genitor	Nº cruzamentos	Genitor	Nº cruzamentos
1	9	6	5
2	8	7	4
3	7	8	3
4	6	9	2
5	5	10	1

Estratégias de seleção para as progênies híbridas

As estratégias baseadas na seleção recorrente recíproca (SRR) são as mais indicadas para o melhoramento de híbridos de eucalipto (Resende; Higa, 1990), devido esse gênero apresentar, principalmente, heterose e dominância alélica para caracteres de crescimento (Assis; Resende, 2011). Esta estratégia foi adotada no Brasil a partir de 2000 (Rezende; Resende, 2000). O método de SR adotado para maximizar ganho

por unidade de tempo foi a SRR de genitores ou seleção interpopulacional (Comstock et al., 1949) com híbridos intermediários (SRR-G-HI), especialmente para os híbridos *E. urophylla* x *E. grandis* (Resende; Higa, 1990; Resende, 2002; Resende; Barbosa, 2005; Resende et al., 2005). As populações parentais são melhoradas simultaneamente com a aplicação da seleção recorrente, para obter a capacidade geral de combinação (Nikles; Newton, 1991; Madhibha et al., 2013). De maneira geral, a correlação entre a capacidade geral de combinação (CGC) dos pais em espécies puras e a CGC dos pais em cruzamentos híbridos, denominada capacidade geral de hibridização (CGH) por Nikles e Newton (1991), tem sido o parâmetro mais importante. Valores altos dessa correlação têm sido observados entre a densidade da madeira e a resistência a doenças em híbridos *E. nitens* x. *E. globulus* (Dungey et al., 1997; Volker 2002).

Quatro estratégias híbridas de seleção foram investigadas quanto à eficiência de seleção por Kerr et al. (2004a, 2004b). Os autores concluíram o esquema SRR-SF (seleção recorrente recíproca baseada em um índice que combina efeitos das espécies puras, híbridos e indivíduos) reduz o tempo entre as gerações pela metade, visto que as progênies híbridas e as puras são melhoradas simultaneamente. Por apresentarem um intervalo de geração reduzido, o ganho genético anual obtido é superior à seleção recorrente recíproca (SRR). Para estruturas genéticas com moderados efeitos de dominância e para que as correlações entre as populações puras e híbridas sejam maiores que zero, a SYN é a melhor estratégia. Porém, os autores constataram que tanto a SRR-SF quanto a SRR apresentam ganho anual mais consistente em maior número de estruturas genéticas que a espécie pura (PSS) e a SYN. Em situações complicadas de melhoramento (baixas herdabilidades e correlações entre híbridos e espécies puras), a RRS-FS é mais indicada. A estratégia de espécies sintéticas testada (SYN) mostrou-se a mais econômica, seguida pela estratégia RRS-SF (Kerr et al., 2004b).

Com a inclusão de outras espécies nos cruzamentos (*E. globulus, E. camaldulensis, E. pellita, E. dunnii, E. benthamii* e *E. viminalis*, dentre outras), e a combinação de várias características em um único indivíduo, surgiu um novo método de SRR, denominado populações sintéticas multiespécies (SRR-PSME). Este método tem congregado vários caracteres para a produção de celulose (resistência à seca e às doenças, volume, densidade, rendimento e teor e qualidade da lignina) (Assis, 2000; Resende; Assis, 2008). Porém, as gerações avançadas de híbridos têm, muitas vezes, resultado na redução do vigor híbrido, devido à ruptura de complexos de genes coadaptados ou perda ou duplicação de segmentos cromossômicos (Potts; Dungey, 2004).

Para a produção de celulose, Resende e Assis (2008) propuseram quatro opções de cruzamento, com base em oito populações sintéticas:

- Produção de celulose em ambientes tropicais. População sintética 1: *E. grandis* (crescimento), *E. camaldulensis* ou *E. tereticornis* (resistência à seca e às doenças, alta densidade) e *E. globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento e alta densidade) x população sintética 2*: E. urophylla* (crescimento), *E. pellita* (resistência à seca e às doenças, alta densidade) e *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento). Segundo Assis (2000), essas populações capitalizam heteroses entre pares de espécies que já foram cruzadas duas a duas e validadas no campo.
- Produção de celulose para ambientes tropicais. População sintética 1: *E. grandis* (crescimento), *E. pellita* (resistência à seca e às doenças, alta densidade) e *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento) x população sintética 2: *E. urophylla* (crescimento), *E. camaldulensis* ou *E. tereticornis* (resistência à seca e às doenças, alta densidade) e *E. globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento e alta densidade). Estas propostas visam inserir em apenas uma geração de recombinação alelos de todas as espécies em um mesmo indivíduo.
- Produção de celulose em ambientes tropicais. População sintética 1: *E. grandis* (crescimento), *E. pellita* (resistência à seca e às doenças, alta densidade) e *E. globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento e alta densidade); população sintética 2: *E. urophylla* (crescimento), *E. camaldulensis ou E. tereticornis* (resistência à seca e às doenças, alta densidade) e *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento).
- Produção de celulose em ambientes frios. População sintética 1: *E. grandis* (crescimento), *E. globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento e alta densidade), *E. viminalis* (resistência ao frio e alta densidade), *E. saligna* (crescimento e densidade maior que a de *E. grandis*) x população sintética 2: *E. urophylla* (crescimento), *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento), *E. smithii* (baixo teor de lignina, alto rendimento, alta densidade, resistência ao frio), *E. benthamii* (resistência ao frio). Essas populações viabilizam a aplicação da seleção genômica ampla por apresentarem um alto desequilíbrio de ligação e baixo tamanho efetivo populacional (em torno de 100).

Manuseio do pólen

Técnicas adequadas para o manuseio do pólen de *Eucalyptus* spp. são necessárias, pela curta longevidade sob condições naturais, e pela defasagem no florescimento observadas para esse gênero. A assincronia pode ocorrer dentro de espécies (Sousa; Higa, 1991), populações e, mais acentuadamente, entre espécies, sendo que essa última tem sido amplamente reportada na literatura (Florence, 1964; Ashton, 1975; Griffin, 1980; Moran, Griffin, 1983; Keatley, Hudson, 2007; Khanduri et al., 2008). Apesar desse processo ocorrer em padrões regulares, as condições ambientais podem influenciar as espécies de forma diferente. A altitude é um dos fatores que tem sido citados

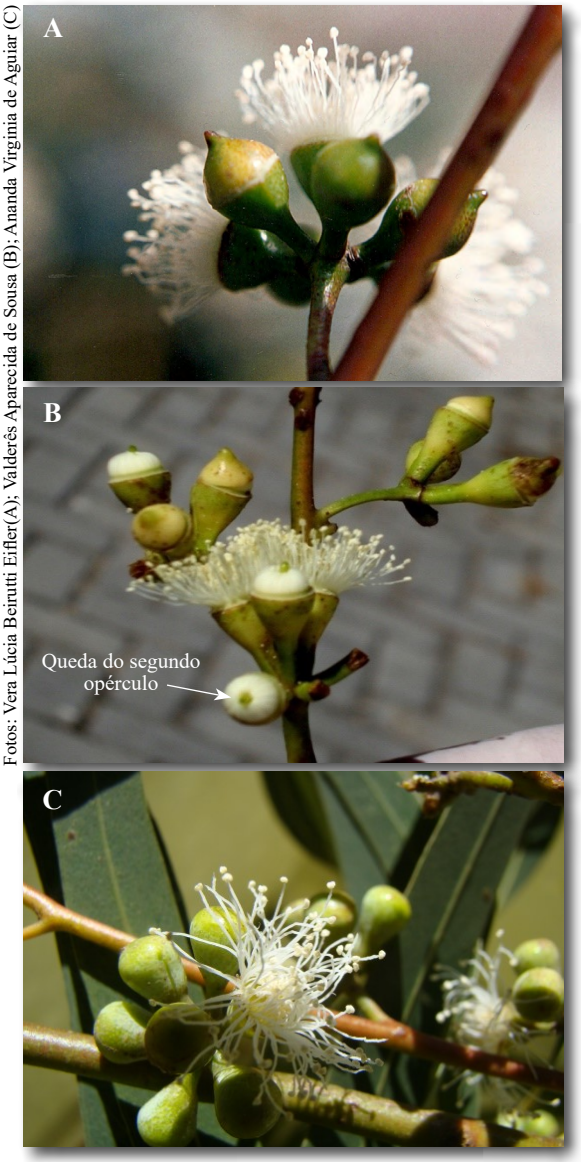
na literatura (Hodgson, 1976; Griffin, 1980). Embora não se saiba com precisão a razão da defasagem (Griffin; Hand, 1979), Graça (1987), estudando o florescimento de *E. dunnii,* verificou a influência da localização geográfica, com tendência de maior florescimento em prol das maiores latitudes e temperaturas médias do mês mais frio mais baixas. O conhecimento da biologia e fenologia reprodutivas constitui-se em um dos passos primordiais ao manuseio do pólen.

Os trabalhos pioneiros tratando o pólen de *Eucalyptus* spp. surgiram no final da década de 1950, na Austrália, primeiramente com Pryor (1954) e, em seguida, com Boden (1958). No Brasil, o primeiro trabalho reportando o manuseio de pólen de *Eucalyptus* spp. foi publicado por Gabrielli et al. (1965). Desde então, diferentes estudos têm sido conduzidos para espécies desse gênero (Borges et al., 1973; Cangiani, 1988; Sousa, 1988; Menck et al., 1990, dentre outros).

Coleta

O principal fator para o sucesso do armazenamento diz respeito à viabilidade inicial do pólen. Batos e Nikolic (2013), estudando o abeto sérvio (*Picea omorika)*, verificaram forte correlação positiva entre o pólen fresco e armazenado sob temperatura de -20 °C. Por conseguinte, esforços devem ser dispendidos na obtenção do pólen com a máxima viabilidade inicial, para o armazenamento adequado. Para tanto, o conhecimento da maturidade na coleta é necessário, implicando no conhecimento da biologia reprodutiva específica.

Estudos sobre a coleta para o gênero *Eucalyptus* foram conduzidos na Austrália e também no Brasil, destacando-se: Borges et al. (1973), Sousa (1982) e Menck et al. (1990). Griffin et al. (1982), trabalhando com *E. regnans,* adotaram uma metodologia de coleta demonstrando que a maturidade máxima ocorria na antese. Dessa forma, sugeriram a coleta de ramos com os botões próximo à perda do opérculo (Figuras 1A e 1B), mantendo-os com as extremidades na água, até o momento da antese (Figuras 1A, 1B e 1C). Ademais, com a remoção das flores abertas, a possibilidade de contaminação das novas flores seria evitada. O trabalho de Menck et al. (1990) corroborou essas descobertas. Esses autores trabalharam com *E. grandis, E. smithii, E. dunnii, E. brassiana, E. urophylla* e *E. camaldulensis* e observaram melhores resultados de germinação quando o pólen foi coletado em botões abertos, em casa de vegetação, do que em botões coletados no campo. Dessa forma, o método adotado por Griffin et al. (1982) e outros autores como Sousa e Pinto Júnior (1992) para *E. dunnii*, continua sendo o mais adequado e utilizado para esse gênero.



Fotos: Vera Lúcia Beirutti Eifler(A); Valderês Aparecida de Sousa (B); Ananda Virginia de Aguiar (C)

Figura 1. Ramo de *E. dunnii* mostrando vários estágios de desenvolvimento: botão verde, botão com opérculo amarelado, no início da abscisão, e flores abertas (A); botões florais em desenvolvimento (até a queda do segundo opérculo) e de *E. benthamii* (B) e híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* e *E. benthammii*(C).

Extração

Esse procedimento é necessário para a redução das impurezas e custos, para evitar contaminações e para restringir o espaço necessário para o armazenamento do pólen. Para diversas espécies folhosas, a reduzida produção de pólen e a sua característica aderente consistem em um agravante para o armazenamento nas quantidades

adequadas. Grande parte dessas espécies são polinizadas por insetos e os eficientes mecanismos para o transporte e polinização, como a aderência, dificulta a extração do pólen das estruturas estaminais. A maioria das espécies de eucaliptos de interesse comercial, no Brasil, apresenta pólens com essas características. Uma das formas mais utilizadas, na prática, para separar o pólen do material inerte tem sido a secagem, seguida da utilização de peneiras de malha fina. Nesse caso, deve-se considerar as perdas do pólen aderido às anteras, que podem ser relativamente grandes.

Com o intuito de incrementar o rendimento desse processo para *Eucalyptus* spp., foi utilizada a extração com água (Griffin et al., 1982; Sousa, 1982; Cangiani,1988; Menck et al., 1990). Ao contrário de Griffin et al. (1982), os demais autores detectaram o efeito negativo sobre a germinação do pólen extraído. Não se conhece a razão para isso, podendo ser atribuída à eluição de componentes da parede do pólen, dentre outras. Dessa forma, diante da potencialidade do uso dos solventes orgânicos, para o pólen de diversas espécies de plantas (Iwanami, 1972, 1975, 1984; Mishra; Shivanna, 1982; Yabuya, 1983), pesquisas foram concentradas também para o gênero *Eucalyptus*. Essa técnica foi apresentada por Stanley e Linskens (1974), como uma forma de superar o problema da manutenção de um nível específico de umidade e também para o transporte do pólen, sem a necessidade do uso de gelo seco ou refrigeração. Esses autores enfatizaram, também, a facilidade da polinização manual e a especial vantagem do emprego para as espécies que apresentam o pólen com superfície viscosa. Portanto, o uso dessa técnica para espécies de *Eucalyptus* é bastante promissor, mas é necessário testar, individualmente a reação específica aos solventes.

Inúmeros solventes têm sido utilizados, tanto para a extração quanto para o armazenamento de pólen. Dentre os mais empregados destacam-se: acetona, álcool amílico, benzeno, etanol, éter etílico, éter dietílico, éter de petróleo, hexano, ciclohexano metanol, xileno, tolueno, tetracloreto de carbono e clorofórmio (Iwanami, 1972, 1975, 1984; Mishra; Shivanna, 1982; Yabuya, 1983; Jain; Shivanna, 1988; Kopp et al., 2002; Khan; Perveen, 2006; Perveen et al., 2007; Perveen; Kahn, 2009; Chaudhury et al., 2010; Perveen; Sarwar, 2011; Vale et al., 2016).

Resultados negativos de viabilidade foram observados para *E. urophylla*, usando-se a acetona (Souza; Gonçalves, 1986) e para *E. camaldulensis* (Sousa; Pinto Júnior, 1992), usando-se éter, tanto etílico quanto de petróleo. No entanto, a extração com benzeno, xileno e tolueno foi promissora para *E. dunnii* e *E. urophylla*, enquanto o xileno e tolueno mostraram melhores resultados para *E. grandis*. Sendo assim, deve-se dar continuidade aos protocolos de uso dessas substâncias para o gênero *Eucalyptus*.

Secagem e armazenamento

A umidade e temperatura são os principais fatores que influenciam a longevidade do pólen durante o armazenamento (Lei et al., 2020), devendo ser controlados. Ambos se encontram diretamente relacionados ao metabolismo e à contaminação do pólen por microrganismos. A redução dessas atividades tende a incrementar a longevidade do pólen armazenado.

A redução da umidade é sempre necessária e, mesmo no curto prazo, essa medida é indispensável. Snyder e Clausen (1974) enfatizam que a preservação da viabilidade do pólen, mesmo por algumas semanas, requer essa redução. Esses autores afirmam que a intensidade de secagem depende da espécie e do método de armazenamento empregado (curto, médio ou longo prazo).

De um modo geral, o nível de desidratação é inversamente proporcional à temperatura de armazenamento.

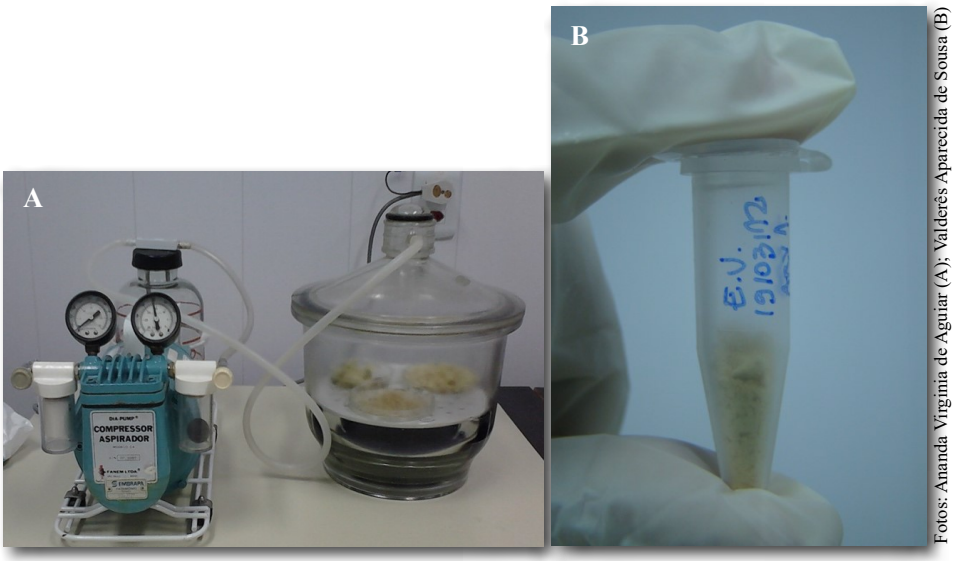
Para a conservação no refrigerador (4 °C), a redução menos drástica da umidade pode ser aceitável, porém, isso implica no encurtamento da viabilidade. Para o armazenamento sob temperaturas mais baixas, como em congeladores (*freezers*) (- 18 °C, - 20 °C, - 36 °C) e *ultra freezers* (- 80 °C) é necessária a secagem mais drástica. Para a criopreservação (-196 °C), há necessidade de uma redução de umidade ainda mais drástica. De acordo com Matthews e Kraus (1981), sob temperaturas reduzidas, caso não haja uma secagem apropriada, pode ocorrer a formação de gelo intracelular, implicando na ruptura da parede da célula.

De maneira geral, Sprague e Johnson (1977) e Goddard e Matthews (1981) recomendam o intervalo de umidade entre 8% a 10% para um armazenamento adequado, independentemente do método empregado. Siregar e Sweet (2000), observando a influência da umidade no armazenamento de *Pinus radiata,* verificaram que a umidade de 10% foi eficiente para o armazenamento no refrigerador (4 °C), por aproximadamente 1 ano, com redução mínima de germinação (de 93% para 84%).

Apesar de ser necessária a secagem intensa do pólen, para o armazenamento sob temperaturas muito baixas, deve-se ressaltar que certos pólens (recalcitrantes) não suportam elevado nível de desidratação. Nesse grupo se incluem os trinucleados (comum nas gramíneas). Essa condição tem sido limitante ao armazenamento (Brewbaker, 1967; Stanley; Linskens, 1974; Frankel; Galun, 1977; Barnabás, 1985; Mayer, 2000; Carrijo Garcia, 2015; Jayapraksh, 2017). Barnabás (1985) indicou 50% como umidade segura para o pólen de *Zea mays* já Stanley e Linskens (1974) indicaram 40% de umidade para o pólen de *Tulipa, Plantago media*, *Clivia cusculus* e *Parnassa*. Exceção é relatada por Boyle (2001), para o pólen de *Schlumbergera truncata* (cacto-de-ação-de-graças) que, mesmo sendo trinucleado, pode tolerar à dessecação intensa (umidade de 4%) e pode ser armazenado sob temperaturas abaixo de 0 °C. Portanto, nota-se que o índice de umidade adequado deve ser testado para as diferentes espécies.

Secagem à vácuo

Diferentes métodos de secagem foram testados e descritos para o pólen de *Eucalyptus* spp., dentre eles a secagem sob vácuo com sílica gel (Figuras 2A e 2B). Trata-se de um procedimento simples e recomendado por alguns autores (Frankel; Galun, 1977; Matthews; Kraus, 1981).



Fotos: Ananda Virginia de Aguiar (A); Valderês Aparecida de Sousa (B)

Figura 2. Secagem a vácuo com sílica-gel de pólen de *E. benthamii* (A); Eppendorf com pólen de *Eucalyptus urophylla* seco e pronto para o armazenamento (B).

Nesse procedimento a secagem depende da umidade inicial do pólen. Snyder (1961) recomenda o período de 15 minutos (utilizando vácuo de 5 mm de Hg), para que o pólen de pínus do sul dos Estados Unidos atinja a umidade adequada (entre 11% e 14%) para o armazenamento no refrigerador, e 30 minutos para o armazenamento no "freezer". Ahlgren e Ahlgren (1978) armazenaram o pólen de *Pinus strobus*, com sucesso, durante oito anos após permanência no dessecador, com sílica-gel, por 48 horas. O ideal é que esse método seja testado especificamente.

Estufa

A secagem em estufa é um método relativamente simples, mas deve-se atentar para a temperatura limite que as espécies podem tolerar. Além disso, com a secagem de grandes quantidades de pólen por um período mais prolongado, pode ocorrer acúmulo de umidade em excesso e, com isso, levar a uma elevada taxa de contaminação por

fungos. Diferentes métodos de secagem foram estudados por Sousa (1988) para *Eucalyptus* spp., dentre eles: câmara seca (temperatura constante de 22 °C) estufa (35 °C e 40 °C constantes) e dessecador com sílica-gel (utilizando vácuo e temperatura ambiente em laboratório). A interação entre os métodos e as espécies, no tocante à viabilidade do pólen foi detectada, enfatizando a necessidade do tratamento individual para as espécies. Verificou-se que apenas a secagem em estufa (40 °C) foi demasiada e prejudicial para a maioria das espécies. Ficou evidente que a velocidade de secagem das estruturas estaminais variou entre as espécies, tendo sido maior para *E. urophylla* e *E. grandis* e menor para *E. camaldulensis* e *E. tereticornis*, enfatizando o comportamento específico e a necessidade de pesquisas para as espécies, individualmente.

Outras formas de secagem, como o uso de ácido sulfúrico, têm sido reportadas na literatura. Duffield e Snow (1941) mantiveram a umidade do pólen em torno de 20% por um ano, enquanto Matthews e Kraus (1981) apontam a possibilidade de se atingir 15% para espécies florestais, com o uso de solução de 1,5 de gravidade específica. No entanto, estes autores ressaltam a possibilidade da redução da viabilidade pela emissão de SO_2 e SO_3.

A secagem com o emprego de soluções salinas (0,5% a 66%) também tem sido relatada. Hong et al. (1999) armazenaram, com sucesso, o pólen de *Typha latifolia* L., sob condições de umidade oriunda de sete soluções salinas saturadas (com umidade relativa de 0,5% a 66%).

A liofilização tem sido outro método empregado para reduzir drasticamente a umidade, visando ao armazenamento no longo prazo. De acordo com Stanley e Linskens (1974), esse método consiste na redução de temperatura (- 60 °C a - 80 °C), seguida da aplicação de vácuo de 50-250 mm de Hg, para remover a água por sublimação. O pólen liofilizado pode, então, ser armazenado sob diferentes condições.

Diversos trabalhos citam o armazenamento bem-sucedido de pólen liofilizado. Dentre esses, destacam-se: Wang (1975) para diversas espécies florestais; Boughediri et al. (1995) para tamareira (*Phoenix dactilifera* L.); Perveen e Alikhan (2007) para *Carica papaya*; e Khan et al. (2013) para *Prunus amygdalus* Batsch (Rosaceae).

Apesar da importância desse método, o mesmo deve ser testado individualmente para as espécies, considerando especialmente a velocidade do congelamento, para que não ocorra danos pela ruptura das células.

A determinação precisa da umidade é necessária para o manuseio do pólen, podendo ser feita de forma simples, como sugerem Goddard e Matthews (1981), mediante acompanhamento da perda de peso de 1 g na estufa. No entanto, Syder e Clausen (1974) enfatizam que a duração desse processo não deve exceder uma hora, para evitar a volatilização. Esse procedimento deve ser testado para as espécies individualmente, com o controle da viabilidade após o procedimento. Existem métodos que envolvem equipamentos mais sofisticados, desde as décadas de 1970 e 1980, como o aparelho de Ohaus (Goddard; Matthews, 1981), onde a umidade é lida em sete minutos

após a exposição do pólen à luz de uma lâmpada com 4,5 watts de potência e o método de Jensen (1970), citado por Goddard e Matthews (1981), que permite determinar pequenas quantidades de pólen, apresentando boa precisão. O aparelho empregado mede o conteúdo absoluto de umidade de uma amostra sob vácuo intenso. A pressão de vapor liberada é condensada como gelo. Quando o gelo evapora do sistema, causa uma pressão de volume conhecido. Essa pressão resultante é proporcional à massa de água liberada, sendo medida, em seguida, por um manômetro a óleo.

Atualmente existem equipamentos que determinam com precisão a umidade de uma pequena quantidade de pólen, bem como a sua viabilidade.

Conforme enfatizado anteriormente, a temperatura desempenha um papel crucial na manutenção da viabilidade do pólen, durante o armazenamento. Para esse propósito, tem-se utilizado mais comumente as seguintes temperaturas: próximo a 25 °C, em laboratório, refrigerador (4 °C), *freezers* e *ultra freezers* (-18 °C, -20 °C, -36 °C, -70 °C - 80 °C), além de crio temperaturas (entre -196 °C e -271 °C, dependendo da finalidade).

Temperaturas mais baixas têm sido mais eficientes para assegurar a viabilidade do pólen por longos períodos (Machado et al., 2014, para coco; Cuchiara et al., 2012, para *Ricinus comunis* L; Batos; Nikolic, 2013, para abeto-sérvio (*Picea omorika*/ Panc./Purkyne); Akond et al., 2012, para *Lagerstroemia* spp.; Chagas et al., 2009, para pêssego e nectarina; Imani et al., 2011, para quatro cultivares de maçã; Özcan, 2020, armazenando pólen de *Prunus avium* L.; Kulus, 2019, para pólen de tomate, dentre inúmeras outras espécies).

A criopreservação (entre -180 °C e -271 °C), com o emprego de gases liquefeitos, tem sido enfatizada para a conservação do pólen, especialmente em nitrogênio líquido (-196 °C). Essas temperaturas, de acordo com Stanley e Linskens (1974), reduzem a atividade citoplasmática a praticamente zero. Dessa forma, o pólen pode ser armazenado por um longo período de tempo.

Stanley e Linskens (1974) citam estudos indicando que o pólen de *Lupinus* preservado sob temperatura de -180 °C poderia permanecer inalterado e vivo por aproximadamente um milhão de anos. Porém, nem todas as espécies resistem a esse tipo de armazenamento. Diversos estudos, e dentre eles o de Jia et al. (2017), que estudaram 20 espécies ornamentais e demonstraram que algumas foram severamente danificadas pelo armazenamento criogênico. Os autores atribuíram esse resultado ao estresse oxidativo induzido pelo armazenamento criogênico no nitrogênio líquido.

Deve-se salientar que o processo de congelamento se mostra uma etapa crítica na manutenção da viabilidade do pólen. Se, por um lado, a umidade mais elevada pode provocar danos pela formação de gelo intracelular, por outro, segundo Kartha (1985), o limite inferior estimado entre 1% e 5% deve ser utilizado com cuidado, pois pode haver redução de viabilidade nesses níveis.

Para evitar injúrias pelo congelamento, tem-se utilizado os crioprotetores. Inúmeros produtos têm sido empregados, tais como etanol, glicóis DMSO (dimetilsulfóxido), acetado de amônio, carboidratos, sorbitol, betaína, sarcosina, uréia, açúcares, álcoois-açúcares, diferentes aminoácidos, polióis, óxido de trimetilamina e o glicerol, como o mais efetivo deles (Kartha, 1985). O último apresenta a vantagem de não ser tóxico, mesmo em alta concentração. Porém, tem sido eficiente para as células animais (Kartha, 1985), mas não para os vegetais (Luza; Polito, 1988). No entanto, pesquisas mais recentes têm mostrado o potencial do glicerol para pólen (Nogueira et al., 2011) para feijão; Vargas et al., 2011, para mamona). Os aminoácidos são considerados bons crioprotetores de células vegetais, devido à sua rápida permeabilidade (Kartha, 1985).

Outro fator muito discutido no armazenamento em nitrogênio líquido é a velocidade do processo. Pesquisadores como Luza e Polito (1988) aconselham o congelamento lento (1 °C min^{-1}), mas citam autores que utilizaram um amplo intervalo de velocidade variando de 0,5 °C min^{-1} até 100 °C min^{-1} (Lee et al., 1985, para *Simmondsia* sp.) e ainda autores que encontraram bons resultados, como Nath e Anderson (1975), com uma alta velocidade de congelamento (200 °C min^{-1}, para *Lilium longiflorum* L. e *Zea mays L.*).

Esse tipo de armazenamento apresenta um custo elevado, em relação aos demais, e tem sido utilizado nos bancos de conservação (ex situ) e também para o armazenamento de longo prazo em programas de melhoramento de espécies cultivadas. Nesse sentido, Senula e Keller (2014) citam a importância dessa técnica na preservação de *Allium cepa* L. Livingston e Ching (1967) destacam que dois pesquisadores japoneses mantiveram viável o pólen de 30 espécies de angiospermas, por um período de 5 a 7 anos, em nitrogênio líquido (-196 °C).

Gomes et al. (2003) conservaram pólen de cebola (*Allium cepa* L.) por dois anos de armazenamento. Ganeshan e Alexander (1991) armazenaram o pólen de quatro variedades de limão durante 3,5 anos, Marchant et al. (1992) armazenaram duas cultivares de rosa inglesa, Chaudhury et al. (2010) armazenaram pólen de manga (*Mangifera indica* L.) e lichia (*Litchi chinensis* Sonn.). Da mesma forma, obtiveram exito no armazenamento de pólens, Xu et al. (2014), para *Camellia, Paeonia e Prunus mume,* Karun et al. (2014), para o pólen de coco; Kulus (2019), para pólen de tomate, Dinato et al. (2020), para o pólen de capim-da-bahia (*Paspalum notatum* Flugge), dentre muitas outras espécies.

Todavia, havendo a necessidade de utilização do pólen armazenado com teor de umidade muito baixo, deve-se preceder à reumidificação. Esse procedimento tem sido feito rotineiramente para a germinação do pólen de diversas espécies (Duffield; Snow, 1941; Cohen et al., 1989; Parton, 1998, Tyagi; McComb, 1992; Kozlowski; Pallardy, 2002).

Sousa (1990) deu início, no Brasil, aos estudos de criopreservação para *Eucalyptus* spp. Para isso, utilizou pólens com umidade reduzida. A taxa de resfriamento em

nitrogênio líquido (-196 °C) foi de 19 °C min^{-1} e a viabilidade, determinada pelo teste de germinação in vitro, mostrou que, sob essas condições, o pólen das espécies estudadas não foi negativamente afetado, demonstrando o potencial para o armazenamento de *Eucalyptus* spp. Deve-se enfatizar, então, que a taxa de resfriamento é um dos fatores mais importantes para a aplicação dessa técnica.

Outros fatores que atuam na viabilidade do pólen armazenado

Além da umidade e temperatura, outros elementos desempenham um papel importante na manutenção da viabilidade do pólen durante o armazenamento, dentre eles os fatores genéticos que têm sido determinantes ao armazenamento do pólen de diversas espécies, tais como variedades de chá (Lei et al., 2020), cultivares de rosa (Giovannini et al., 2015), acessos de coco (Machado et al., 2014) e árvores de abeto-sérvio (*Picea omorika* [Pancic] Purkyne) (Batos; Miljković, 2019).

Elucidações sobre o decréscimo de viabilidade durante o armazenamento envolve, ainda, o metabolismo dos carboidratos (Carrizo Garcia et al., 2015) ou carboidratos e proteínas (Kirby; Smith, 1974; Stanley; Linskens, 1974). Oliver et al. (1997) destacam os altos níveis de ácidos graxos. Ademais, a inativação das enzimas, hormônios de crescimento e ácido pantotênico, além dos danos provocados pela dessecação, também podem contribuir para o decréscimo da viabilidade do pólen (Harrington, 1970; King, 1965, citados por Wang, 1975).

Componentes fisiológicos também contribuem para o sucesso ou fracasso no armazenamento de pólen. Dentre esses, o estado nutricional da planta durante o desenvolvimento do pólen (Linskens; Stanley, 1974).

Independente da forma utilizada para reduzir a umidade em *Eucalyptus* spp., Sousa (1990) demonstrou a resistência de diferentes espécies à dessecação significativa.

A contaminação do pólen também prejudica a sua conservação. Stanley e Linskens (1974) citam diferentes trabalhos enfatizando o problema da infecção por fungos. A influência desses fungos pode ocorrer de forma direta ou indireta. Indiretamente, pode acarretar mudanças químicas dos colóides ou a inibição de enzimas como amilases e invertases. Destacam, ainda, o efeito destrutivo da luz ultravioleta sobre a viabilidade do pólen na prevenção por infecção fúngica.

Testes de viabilidade do pólen

A avaliação da viabilidade de pólens, tanto recém-colhidos quanto armazenados, é de extrema importância para estabelecer a potencialidade de uso desse material. Para isso, são utilizados tanto os testes in vivo quanto in vitro.

Testes de germinação in vivo e produção de sementes

No método in vivo, após depositar o pólen em um estigma receptivo, destaca-se o estilete e procede-se à contagem dos tubos que penetraram no estigma, comparando-os, em seguida, com o número total de grãos (Stanley; Linskens, 1974). Entretanto, alguns problemas observados podem afetar esse tipo de avaliação, dentre eles: i) a dificuldade de penetração do tubo polínico na superfície estigmática, devido à superfície cuticular; ii) a presença de água no estigma pode levar ao rompimento do pólen, prejudicando a germinação; iii) incompatibilidade genética entre o pólen e o pistilo; iv) a aplicação de elevada concentração pode inibir a penetração do tubo polínico no estilete; v) ocorrendo uma queda acentuada da temperatura, pode haver uma queda na germinação, levando a uma viabilidade aparentemente baixa; e vi) dificuldade de identificar os grãos germinados no estigma, por ocasião da contagem.

Adicionalmente, utiliza-se a capacidade de o pólen produzir sementes como um critério de avaliação (Stanley; Linskens, 1974). No entanto, os autores citam o agravante do ciclo reprodutivo, como limitante ao uso, dentre outros fatores.

Testes de germinação in vitro

A avaliação in vitro é muito mais vantajosa, por proporcionar maior rapidez.

De acordo com Heslop-Harrison et al. (1984), os métodos utilizados para a avaliação da qualidade do pólen in vitro são: testes de germinação, testes do conteúdo de células vegetativas com corantes, testes de atividades enzimáticas e procedimento fluorocromático (FCR), especialmente testes com integridade de membranas plasmáticas da célula.

Face ao amplo emprego da germinação in vitro e corantes específicos, esses métodos serão melhor abordados.

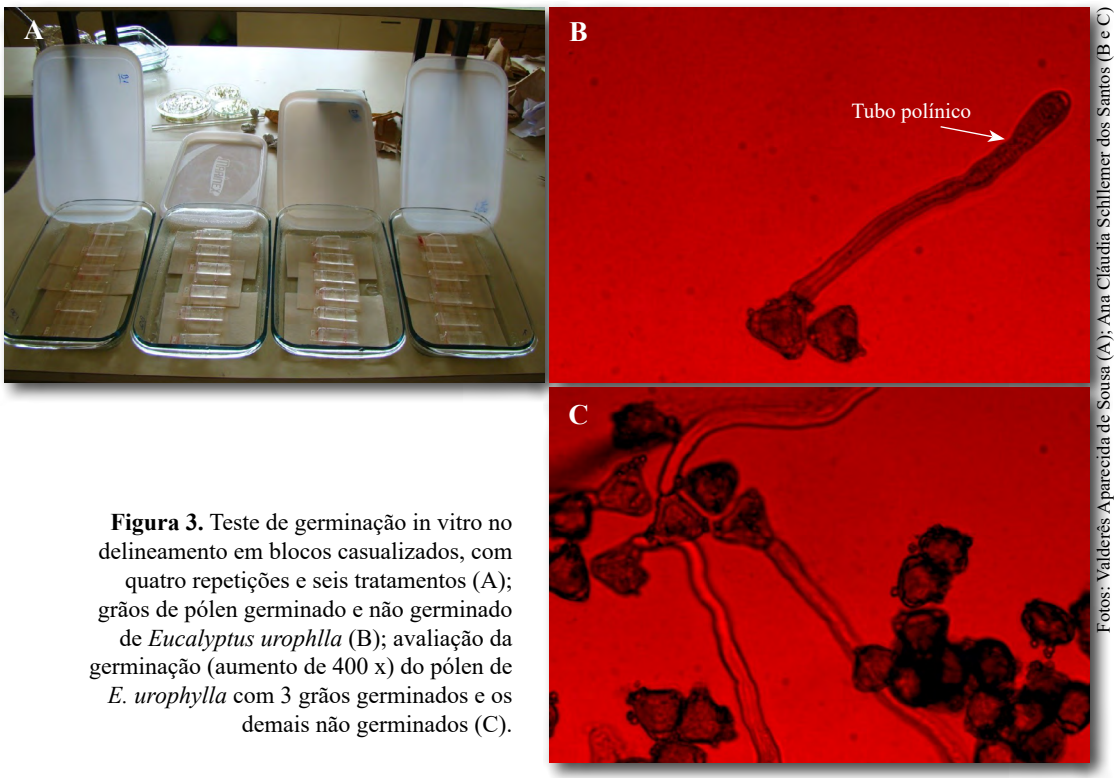
Vários métodos são conhecidos e descritos por Stanley e Linskens, (1974), para a germinação in vitro. Porém, o que utiliza ágar ou gelatina merece destaque, pela facilidade de incorporação de açúcares e outros elementos estimulantes para a germinação do pólen, propiciando uma umidade relativa constante e adequada à germinação. Esses autores enfatizam as condições aeróbicas da superfície como convenientes e a facilidade de manuseio das lâminas. Para se obter estimativas confiáveis da viabilidade do pólen armazenado, é necessário dispor de um meio de cultura que possibilite a expressão do seu potencial fisiológico para a formação do tubo polínico.

Os componentes do meio de cultura variam de acordo com a espécie e têm sido amplamente estudados. A maioria das espécies necessita de uma fonte de carboidratos e outros elementos estimulantes. O carboidrato é, normalmente, necessário para o crescimento inicial do tubo, mas, segundo Dorman (1976), existem pólens, como o de *Pinus* spp., que germinam apenas em água destilada. Os dois papéis principais

atribuídos aos açúcares, por Bhojwani e Bhatnagar (1974), referem-se ao controle da pressão osmótica e funcionam também como substrato respiratório. Diversos açúcares são empregados para essa finalidade. Dentre esses, destacam-se a sacarose como um dos mais utilizados em concentrações diversas, considerando as diferentes espécies de plantas (Klaehn; Neu, 1960, para *Prunus serotina* e *Populus tremuloides*; Bomben et al., 1999, para clone triplóide de *Actinidia chinensis*; Cuchiara et al., 2012, para *Ricinus comunis* L; Giovannini et al., 2015, para seis cultivares comerciais de rosas; Chander et al., 2019) para maçã-doce (*Annona squamosa* L.) cv. Balanagar; Batos; Nikolic, 2019, para abeto-sérvio (*Picea omorika* [Pancic] Purkyne), dentre dezenas de outras espécies).

Outros açúcares, como glicose, frutose, lactose, galactose, rafinose e sorbitol, têm sido também pesquisados e empregados para diferentes espécies de plantas (Stanley; Linskens, 1974; Miranda; Clement, 1990; Guarnieri et al., 2006; Imani et al., 2011; Giovannini et al., 2015; Impe et al., 2019).

Os testes de germinação in vitro para o *Eucalyptus* spp. (Figuras 3A, 3B e 3C) envolvendo a sacarose, apresentaram bons resultados, desde o início dos testes (Boden, 1958; Gabrielli et al., 1965; Borges et al., 1973). A concentração de 30% foi determinada por Sousa (1988), e tem sido adotada com sucesso, por vários pesquisadores.



Fotos: Valderês Aparecida de Sousa (A); Ana Cláudia Schllemer dos Santos (B e C)

Figura 3. Teste de germinação in vitro no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos (A); grãos de pólen germinado e não germinado de *Eucalyptus urophlla* (B); avaliação da germinação (aumento de 400 x) do pólen de *E. urophylla* com 3 grãos germinados e os demais não germinados (C).

Além do açúcar, nutrientes, elementos como Ca, B, e Mg, enzimas (celulases e pectinases) e hormônios (auxinas e giberelinas) desempenham um papel fundamental na germinação de determinados pólens (Bhojwani; Bhatnagar, 1974).

Dentre esses elementos principais, destacam-se B e Ca. De acordo com Bhojwani e Bhatnagar (1974), o B é o mais atuante na germinação e crescimento do tubo polínico. De acordo com esses autores, esse elemento existe na natureza, em nível comparativamente alto no estigma e estilete, suprindo o pólen durante a sua germinação. Dentre os inúmeros papéis que o boro pode desempenhar na germinação, alguns autores atribuem o seu envolvimento na absorção dos açúcares (Bhojwani; Bhatnagar, 1974; Stanley; Linskens, 1974).

O cálcio é outro elemento químico essencial na germinação do pólen e elongação do tubo polínico (Bhojwani; Batnagar, 1974; Snyder; Clausen, 1974; Stanley; Linskens 1974), sendo que o principal papel atribuído ao cálcio é referente às substâncias pécticas (Stanley; Linskens, 1974). Inúmeros são os trabalhos que incorporam o boro e cálcio, individualmente ou em combinação, para uma melhor germinação do pólen, com doses variadas, em função das espécies utilizadas (Miranda; Clement., 1990; Pio et al., 2007; Mortazavi et al., 2010; Imani et al., 2011; Sousa et al., 2016).

Para *Eucalyptus* spp., testes de germinação in vitro têm sido conduzidos há algum tempo, buscando-se o meio mais completo para a germinação adequada do pólen viável. Sousa (1988) definiu o meio de cultura baseado em diferentes espécies de eucalipto *(E. urophylla*, *E. grandis, E. camaldulensis* e *E. tereticornis*), sendo a base de ágar (0,8%) e sacarose (30%). Essa concentração de sacarose havia sido indicada por Griffin et al. (1982) para uma solução específica à germinação de *E. grandis*. No entanto, Sousa (1988) adaptou o método inserindo o ágar como solidificante, propiciando a disponibilidade de oxigênio à superfície do meio de cultura, facilitando a germinação. Esse meio tem sido muito utilizado no Brasil, a partir de então. Ainda sobre a adição do boro ao meio de cultura, Sousa (1988) encontrou dificuldade em estabelecer o nível adequado, devido à influência de vários fatores. Para o cálcio, encontrou o melhor resultado de germinação com a aplicação de 220 ppm de $CaCl_2.2H_2O$. O período de incubação dos testes foi de 24 horas sob temperatura de 25 °C e umidade relativa de 99%.

Visando tornar mais ágeis os testes de germinação in vitro, com uma concentração padrão, Sousa-Lang e Pinto Júnior (1997) adotaram a solução de Brewbaker e Kwack (1963) (100 mg L^{-1} de H_3BO_3, 300 mg L^{-1} de Ca $(NO_3)_2$. $4H_20$, 200 mg L^{-1} de $MgSO_4.7H_20$ e 100 mg L^{-1} de KNO_3) nas concentrações de 8 g L^{-1} e 300 g L^{-1} para os testes de germinação de *E. urophylla, E. grandis* e *E. robusta* e verificaram a melhor germinação para todas as espécies estudadas, mesmo havendo interação entre o meio de cultura e as espécies. Essa solução tem sido usada com sucesso nos meios de germinação adaptados para diversas plantas (Cohen et al., 1989; Mortazavi et al., 2010 Beck-Pay, 2012; Sousa et al., 2016; Jalca et al. 2019).

Assim, pode-se recomendar para o gênero *Eucalyptus* a germinação de pólen em meio de cultura composto com os seguintes elementos: ágar e sacarose nas concentrações de 8 g L^{-1} e 300 g L^{-1} e solução de Brewbaker e Kwack (1963).

Testes com corantes específicos

A determinação da viabilidade do pólen usando corantes específicos é muito atrativa, especialmente devido à rapidez do processo. Ao utilizar esse método, evita-se também o risco de contaminação que pode ocorrer nos testes de germinação de pólen, especialmente para as espécies que requerem um período acima de 24 horas para germinar, tais como *Pinus* spp. e *Araucaria angustifolia.* No entanto, deve-se considerar que os corantes vitais podem colorir o pólen imaturo e abortado, superestimando assim a viabilidade (Stanley; Linskens, 1974). Vários corantes são utilizados para essa finalidade, dentre eles: azul de algodão em lactofenol, anilina azul em lactofenol e tetrazólio nitro azul (Hauser; Morrison, 1964). Stanley e Linskens (1974) destacam, ainda, outros corantes específicos, como: iodeto de potássio, tendo especificidade para amido, carmim acético, que colore preferencialmente cromossomos, e metil floxina verde que colore citoplasma e celulose. Adicionalmente, Soares et al. (2013) empregaram o lugol em seus estudos de viabilidade de pólen de *Passiflora* spp e Sedgley e Harbard (1993) e Novara et al. (2017) empregaram o diacetato de fluoresceína. É importante destacar o cloreto de 2,3,5 trifenil tetrazólio, por sua ampla utilização nos testes de viabilidade do pólen de diversas espécies, em diferentes concentrações (Sedgley; Harbard, 1993; Soares et al., 2013; Novara et al., 2017; Özcan et al., 2019). Esse corante reage com enzimas da respiração, produzindo um composto vermelho denominado formazan para pólens viáveis (Viéitez Cortizo, 1952; Ferreira et al., 2007; Salazar; Delgado, 2018), possibilitando a estimativa da sua viabilidade.

Para evitar o problema da superestimativa dos corantes específicos, Munhoz et al. (2008) aconselham a comparação com testes de germinação in vitro.

Assim, a definição de protocolos para testes rápidos, comparados aos testes de germinação in vitro para aferição da concentração e tempo de exposição ao corante, é essencial para tornar os corantes específicos atraentes e de amplo uso para *Eucalyptus* spp..

Considerações importantes

A técnica para a produção de híbridos de eucaliptos já foi validada e estabelecida. Porém, a produção de híbridos deve ser melhor planejada, juntamente às empresas do setor florestal. As atividades devem ser baseadas nos resultados dos programas de melhoramento genético das populações puras (espécies) e híbridas, visando viabilizar o aumento contínuo de produção e a qualidade da madeira, a partir da técnica de hibridação.

O manuseio do pólen de *Eucalyptus,* bem como de outras espécies florestais, embora aparentemente simples, requer o domínio de diferentes áreas, como a biologia da espécie, fisiologia e microbiologia, dentre outras. Além disso, o cuidado para a não contaminação com microrganismos e pólens estranhos é imprescindível para o sucesso da produção de híbridos específicos. Embora a liofilização combinada com a criopreservação (armazenamento) seja mais efetiva para a conservação no longo prazo, com grande potencial futuro, é possível manter pólens viáveis utilizando processo de secagem mais simples (dessecador, estufas) e armazenando-os em *freezers* (-20 °C), atendendo à demanda para cruzamentos controlados, no médio prazo. Novos protocolos visando otimizar a extração, para aproveitamento total do pólen, e armazenamento de longo prazo, além de testes de viabilidade mais práticos e rápidos, vêm sendo desenvolvidos e deverão tornar o processo mais acessível e rápido, considerando a manipulação de maiores quantidades de pólen.

Referências

AHLGREN, C. E.; AHLGREN, I. F. Viability and fertility of vacuum dried pollen of 5: needle pine species. **Forest Science**, v. 24, n. 1, p. 100-102, 1978. DOI: https://dx. doi.org/10.1093/forestscience/24.1.100.

AKOND, A. M.; POUNDERS, C. T.; BLYTHE, E. K.; WANG, X. Longevity of crapemyrtle pollen stored at different temperatures. **Scientia Horticulturae**, v. 18, p. 53-57, 2012.

ALFENAS, R. F.; FREITAS, R. G.; PEREIRA, O. L.; COUTINHO, M. M.; ZARPELON, T. G.; CANDIDO, T. S.; ALFENAS, A. C. Screening of *Corymbia* and *Eucalyptus* species for resistance to *Calonectria pteridis* leaf blight. **Forest Pathology**, v. 46, n. 1, p. 76-81, 2016.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2 ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009.

ASHTON, D. H. Studies of flowering behaviour in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Australian Journal of Botany**, v. 23, p. 399-411, 1975.

ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007. p. 93-121.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 18, p. 32-51, 1996.

ASSIS, T. F. Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, Curitiba, 2001. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 193-214.

ASSIS, T. F. Produção de híbridos interespecíficos em *Eucalyptus spp*. In: REUNIÃO SOBRE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS, Piracicaba, 1987. **Anais** [...]. Piracicaba: IPEF, 1987. p. 2-5.

ASSIS, T. F. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa, Queensland. **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: proceedings. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 63-74. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V. Genetic improvement of forest tree species. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 44-49, 2011.

ASSIS, T. F.; ROSA, O. P.; GONÇALVES, S. I. Propagação clonal de *Eucalyptus* por microestaquia. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., Nova Prata, 1992. **Anais** [...]. Santa Maria, RS: UFSM, 1992, p. 824-836.

ASSIS, T.; WARBURTON, P.; HARWOOD, C. Artificially induced protogyny: an advance in the controlled pollination of *Eucalyptus.* **Australian Forestry**, v. 68, n. 1, p. 27-33, 2005.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Associação de *Botryosphaeria dothidea* com a morte de árvores jovens de *Eucalyptus benthamii* no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, v. 35, p. 84, 2009a.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Doenças em eucaliptos destinados à produção de energia na região Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 3, n. 68, p. 373, 2011.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Ocorrência de mancha de Kirramyces em *Eucalyptus benthamii* na região Sul do Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 35, p. 85, 2009b.

AUER C. G.; SANTOS, A. F. Principais doenças em espécies de eucalipto utilizadas para a produção de energia na região sul do Brasil. Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., Belo Horizonte, 2009. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2009c.

BARNABÁS, B. Effect of water loss on germination ability of maize (*Zea mays* L.) pollen. **Annals of Botany**, v. 55, n. 2, p. 201-204, 1985.

BATOS B.; MILJKOVIĆ, D. The vitality of the Serbian spruce (*Picea omorika*) pollen during the long-term cryopreservation. **Grana**, v. 58, n. 6, p. 433-46, 2019.

BATOS, B. Z.; NIKOLIC, B. M. Variability of in vitro germination of *Picea omorika* pollen. **Dendrobiology**, v. 69, p. 13-19, 2013.

BECK-PAY, S. L. Optimisation of pollen viability tests for *Acacia podalyriifolia* and two ploidys of *Acacia mearnsii*. **South African Journal of Botany**, v. 78, p. 285-289, 2012.

BHOJWANI, S. S.; BATNAGAR, S. P. **The Embryology of angiosperms**. New Delhi: Skylark Printers, 1974. 264 p.

BODEN, R. W. Handling and storage of pollen in *Eucalyptus* breeding. **Australian Forestry**, v. 12, n. 2, p. 73-81, 1958.

BODEN, R. W. Hybridisanon in *Eucalyptus*. **Indian Forester**, v. 90, p. 581-586, 1964.

BOMBEN C.; MALOSSINI C.; CIPRIANI, G.; TESTOLIN R.; RETAMALES, J. Long term storage of kiwifruit pollen. **Acta Horticulturae**, v. 498, p. 105-108, 1999.

BORGES, C. P.; SILVA, A. A.; FERREIRA, M. Estudos preliminares sobre a conservação do pólen de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, n. 6, p. 3-32, 1973.

BOUGHEDIRI, L.; CERCEAU-LARRIVAL, M. T.; DORÉ, J. C. Significance of freeze-drying in long term storage of date palm pollen. **Grana**, v. 34, n. 6, p. 408-12, 1995.

BOYLE, T. H. Environmental control of moisture content and viability in *Schlumbergera truncata* (Cactaceae) pollen. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 5, p. 625-630, 2001.

BREWBAKER, J. L.; KWACK, B. H. The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. **American Journal of Botany**, v. 50, n. 9, p. 859-865, 1963.

BREWBAKER, J. L. The distribution and phylogenetic significance of binucleate and trinucleate pollen grains in the angiosperms. **American Journal of Botany**, v. 54, n. 9, p. 1069-1083, 1967.

CAMPINHOS, E.; IKEMORI, Y. K. Selection and management of the basic population *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla* established at Aracruz for the long-term breeding program. In: PROCEEDINGS of a conference on breeding tropical trees: population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry. Oxford: Oxford Forestry Institute; Winrock International, 1989. p. 169-175. Edited by: G. L. Gibson; A. R, Griffin; A. C. Matheson of the IUFRO Conference, Pattaya, Thailand, November 1988.

CAMPINHOS JUNIOR, E.; IKEMORI, Y. K. Tree improvement program of *Eucalyptus* spp.: preliminary results. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 3., 1977, Canberra. [**Procedings**...] Canberra: CISRO, 1978. 22 p.

CANGIANI, S. M. Extração e armazenamento de polen de *Eucalyptus camaldulensis*. **IPEF**, n. 162, 5 p., 1988.

CARRIZO GARCIA, C.; GUARNIERI, M.; PACINI, E. Carbohydrate metabolization in late stages in the recalcitrant pollen of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Plant Biology**, v. 17, n. 3, p. 734-739, 2015.

CASTRO, C. A. D. O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585-1593, 2016.

CAUVIN, B. Eucalyptus hybridation controlée: premiers resultats. In: ANNALES DE RECHERCHES SYLVICOLES, Paris, 1983. Paris: Association Poret-Cellulose, 1983. p. 85-117.

CHAGAS, E. A.; BARBOSA, W.; CHAGAS, P. C.; TIZATO, L. H.; BETTIOL NETO, J. E.; NEVES, A. A.; CARVALHO, A. S.; SCARPARE FILHO, J. A.; PIO, R.; PASQUAL, M. Cryopreservation of peach and nectarine pollen grains. In: INTERNATIONAL PEACH SYMPOSIUM, 7., 2009, Lleida, Espanha. **Symposium**. Lleida, 2009, p. 269-275.

CHANDER S.; RAJASEKHARAN, P. E.; KURIAN, R. M. Pollen storage studies in sugar apple (*Annona squamosa* L.) cv. Balanagar. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 66, n. 3-4, p. 196-202, 2019.

CHAPERON, H. Amelioration genetique des *Eucalyptus* hibrides an Congo Brazzaville. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 3., 1977, Canberra. [**Procedings**...] Canberra: CISRO, 1978. 16 p.

CHAUDHURY, R; MALIK, S. K.; RAJAN, S. An improved pollen collection and cryopreservation method for highly recalcitrant tropical fruit species of mango (*Mangifera indica* L.) and litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). **CryoLetters**, v. 3, n. 3, p. 268-78, 2010.

COHEN, E.; LAVI, U.; SPIEGEL-ROY, P. Papaya pollen viability and storage. **Scientia Horticulturae**, v. 40, n. 4, p. 317-324, 1989.

COMSTOCK, R. E.; ROBINSON, H. F; HARVEY, P. H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. **Agronomy Journal**, v. 41, p. 360–367, 1949.

CUCHIARA, C. C.; DOS ANJOS E SILVA, S. D.; BOBROWSKI, V. L. Conservation of castor bean pollen at low temperatures. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 82-87, 2012.

DIETERS M. J.; DUNGEY H. S. Relationship between the relative importance of non-additive variance and the genetic correlation between hybrid and parental populations in some *Pinus* species. In: QFRI/ CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa, Queensland. **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: proceedings. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 87-92. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

DINATO, N. B.; SANTOS, I. R.; ZANOTTO, V.; BACCILI, B.; et al. Pollen cryopreservation for plant breeding and genetic resources conservation. **Cryoletters**, v. 41, n. 3, p. 115-127, 2020.

DORMAN, K. W. **The genetics and breeding of southern pines**. Washington: USDA. Forest Service, 1976. 407 p. (USDA. For. Serv. Agric. handbook, 471).

DUFFIELD, J. W.; SNOW, J. R.; ALBERT, G. Pollen longevity of *Pinus strobus* and *Pinus resinosa* as controlled by humidity and temperature. **American Journal of Botany**, v. 28, p. 175-177, 1941.

DUNGEY H. S.; POTTS B. M.; CARNEGIE A. J.; ADES P. K. Mycosphaerella leaf disease: genetic variation in damage to *Eucalyptus nitens*, *E. globulus* and their F1 hybrid. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, n. 5, p. 750–759, p. 14–26, 1997.

ELLIS M. F.; SEDGLEY M.; GARDNER, J. A. Interspecific pollen-pistil interaction in Eucalyptus L. Her. (Myrtaceae) the effect of taxonomic distance. **Annals of Botany**, v. 68, p. 185-194, 1991.

ESPEJO, J.; HARBARD, J.; GRIFFIN, A. R. Consideraciones operacionales de cruzamentos controlados masales (OSP) de *E. globulus* (Labill.) en cuatro temporadas en Forestal y Agricola Monte Aguila S.A. In: DEVELOPING THE EUCALYPT OF THE FUTURE, Valdivia, 2001. **Symposium**. Valdivia: IUFRO, 2001.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Longman: Harlow. 1996. 360 p.

FERREIRA, C. A.; VON PINHO, E. V. D. R.; ALVIM P. D. O.; ANDRADE, V. de; SILVA, T. T. D. A.; CARDOSO, D. L. Conservação e determinação da viabilidade de grão de pólen de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 2, 2007.

FERREIRA, F. A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas no Brasil**. Mogi Guaçu: International Paper, 2002. 98 p.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. dos. Melhoramento genético florestal dos Eucalyptus no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings**... = **Anais**... Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1. p. 14-34.

FLORENCE, R. G. A comparative study of flowering and seed production in six blackbutt (*Eucalyptus pilularis* Sm.) forest stands. **Australian Forestry**, v. 28, n. 1, p. 23-33, 1964.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2010. 200 p.

FRANKEL, R.; GALUN, E. **Pollination mechanisms, reproduction and plant breeding**. Berlin: Springer-Verlag, 1977. 281 p.

GABRIELLI, A. C.; CUNHA, R. A.; MAULE, V. Conservação do pólen de diversas espécies de *Eucalyptus* para fins de cruzamento. **Revista de Agricultura**, v. 40, n. 2, p. 51-57, 1965.

GANESHAN, S.; ALEXANDER, M. P. Cryogenic preservation of lemon (*Citrus limon* Burm.) pollen. **Gartenbauwissenschaft**, v. 56, n. 5, p. 228-230, 1991.

GIOVANNINI, A.; MACOVEI, A.; DONÀ, M.; VALASSI, A.; CASER, M.; MANSUINO, A.; GHIONE, G. G.; CARBONERA, D.; SCARIOT, V.; BALESTRAZZI, A. Pollen grain preservation at low temperatures in valuable commercial rose cultivars. **Acta Horticulturae**, v. 1064, p. 63-69, 2015.

GODDARD, R.; MATTHEWS, F. Pollen testing. In: FRANKLIN, E.C. (ed.). **Pollen management handbook**. Washington: USDA. Forest Service, 1981. p. 40-43. (USDA. Forest Service Handbook, 587).

GOMES, P. R.; RASEIRA, M. D.; BAUDET, L. L.; PESKE, S. T. Armazenamento do grão de pólen de cebola (*Allium cepa* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 14-7, 2003.

GONÇALVES, A. N. Reversion to juvenility and cloning of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake in cell and tissue culture system. In: IUFRO EM MELHORAMENTO GENETICO E PRODUTIVIDADE, 1980, Águas de São Pedro. **Anais** [...]. IUFRO: Águas de São Pedro, 1980.

GORE, P. L.; POTTS B. M.; VOLKER P. W.; MEGALOS J. Unilateral cross-incompatibility in *Eucalyptus*: the case of hybridisation between *E. globulus* and *E. nitens*. **Australian Journal of Botany**, v. 38, n. 4, p. 383-394, 1990.

GRAÇA, M. E. C. Avaliação do florescimento e do potencial de produção de sementes de *Eucalyptus dunnii* Maid. no Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 14, p. 1-11, 1987.

GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V. Genomic selection in forest tree breeding. **Tree Genetics & Genomes**, v. 7, n. 2, p. 241-255, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s11295-010-0328-4.

GRIFFIN, A. R.; CHING, K. K.; JOHNSON, K. W.; HAND, F. C.; BURGESS, I. P. Processing Eucalyptus pollen for use in controlled pollination. **Silvae Genetica**, v. 31, n. 5-6, p. 198-203, 1982.

GRIFFIN, A. R. Floral phenology of a stand of mountain ash (*Eucalyptus regnans* F. Muell) in Gippsland, Victoria. **Australian Journal of Botany**, v. 28, p. 393-404, 1980.

GRIFFIN, A. R.; HAND, F. C. Post-anthesis development of flowers of *Eucalyptus regnans* F. Muell. and the timing of artificial pollination. **Australian Forest Research**, v. 9, n. 1, p. 9-15, 1979.

GRIFFIN, A. R.; HARBARD, J. L.; CENTURION, C.; SANTINI P. Breeding *Eucalyptus grandis globulus* and other inter-specific hybrids with high in viability: problem analysis and experience with Shell Forestry projects in Uruguay and Chile. In: In: QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa, Queensland. **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: proceedings. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 1-13. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

GRIFFIN, A. R.; WHITEMAN, P.; RUDGE, T.; BURGESS, I. P.; MONCUR, M. Effect of paclobutrazol on flower-bud production and vegetative growth in two species of *Eucalyptus.* **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, n. 4, p. 640-647, 1993.

GRIFFING, B. Concept and general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, p. 463-493, 1956.

GUARNIERI, M.; SPERANZA, A.; NEPI, M.; ARTESE, D.; PACINI, E. Ripe pollen carbohydrate changes in *Trachycarpus fortunei*: the effect of relative humidity. **Sexual Plant Reproduction**, v. 19, n. 3, p. 117, 2006. DOI: https://doi.org/10.1007/s00497-006-0027-3.

GWAZE, D. P.; BRIDGWATER, F. E.; LOWE, W. J. Performance of interspecific F1 Eucalypt hybrids in Zimbabwe. **Forest Genetics**, v. 7, p. 295–303, 2000.

HARBARD, J. L.; GRIFFIN, A. R.; ESPEJO, J. Mass controlled pollination of *Eucalyptus globulus*: a practical reality. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 29, n. 10, p. 1457-1463, 1999.

HAUSER, E. J.; MORRISON, J. H. The cytochemical reduction of nitro blue tetrazolium as an index of pollen viability. **American Journal of Botany**, v. 51, n. 7, p. 748-752, 1964.

HESLOP-HARRISON, J.; HESLOP-HARRISON, Y.; SHIVANNA, K. R. The evaluation of pollen quality, and a further appraisal of the fluorochromatic (FCR) test procedure. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 67, n. 4, p. 367-375, 1984.

HIGA, A. R.; CARVALHO, P. E. R. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. **Silvicultura**, v. 3, n. 42, 1990.

HIGA, R. C. V. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 38, p. 121-123, 1999.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L.V. A.; GONÇALVES, A. N. Evolução do jardim clonal de eucalipto para a produção de mudas. **IPEF Notícias**, v. 24, p. 4-6, 2000a.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES A. N. Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de Eucalyptus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000b. p. 191-217.

HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. Provenance variation and within-provenance genetic parameters in *Eucalyptus urophylla* across 125 test sites in Brazil, Colombia, Mexico, South Africa and Venezuela. **Tree Genetics & Genomes**, v. 11, n. 3, p. 57, 2015.

HODGSON, L. M. Some aspects of flowering and reproductive behaviour in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden at J.D.M. Keet Forest Research Station (Formely Zomerkomst Forest Research Station). **South African Forestry Journal**, n. 97, p. 18-28, 1976.

HONG, T. D.; ELLIS, R. H.; BUITINK, J.; WALTERS, C.; HOEKSTRA, F. A.; CRANE, J. A model of the effect of temperature and moisture on pollen longevity in air-dry storage environments. **Annals of Botany**, v. 83, n. 2, p. 167-73, 1999.

IANNELLI, E.; XAVIER, A.; COMERIO, J. Micropropagação do de *Eucalyptu*s spp. na Champion. **Silvicultura**, v. 17, p. 33-35, 1996.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual da Ibá 2019**. Brasília, DF, 2019. 80 p.

IMANI, A.; BARZEGAR, K.; PIRIPIREIVATLOU, S.; MASOMI, S. H.; Storage of apple pollen and in vitro germination. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 2, p. 624-9, 2011.

IMPE, D.; REITZ, J.; KÖPNICK, C.; ROLLETSCHEK, H.; BÖRNER, A.; SENULA, A.; NAGEL, M. Assessment of pollen viability for wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1588, 2019.

IWANAMI, Y. Absolute dormancy of pollen induced by soaking in organic solvents. **Protoplasma**, v. 84, n. 1-2, p.181-4, 1975.

IWANAMI, Y. Retaining the viability of Camellia japonica pollen in various organic solvents. **Plant and Cell Physiology**, v. 13, n. 6, p. 1139-41, 1972.

IWANAMI, Y. The viability of pollen grains of a lily (*Lilium auratum*) and the eggs of the brine-shrimp (Artemia salina) soaked in organic solvents for 10 years. **Experientia**, v. 40, n. 6, p. 568-9, 1984.

JAIN, A.; SHIVANNA, K. R. Storage of pollen grains in organic solvents: effect of organic solvents on leaching of phospholipids and its relationship to pollen viability. **Annals of Botany**, v. 61, n. 3, p. 325-30, 1988.

JALCA ZAMBRANO, I.; GARCIA CRUZATTY, L. C.; CASTRO OLAYA, J.; VILLAMAR TORRES, R.; GUACHAMBALA CANDO, M. Optimal conditions for pollen storage of *Ochroma pyramidale*. **Bosque**, v. 40, n. 2, p. 227-33, 2019.

JENSEN, C. J. Some factors influencing survival of pollen on storage procedures. In: FAO-IUFRO, Sec. 22, WORKING GROUP MEETING ON THE SEXAUL REPRODUCTION OF FOREST TREES, Varparanta, Finland. 1970. 18p.

JIA, M. X.; SHI, Y.; DI, W.; JIANG, X. R.; XU, J.; LIU, Y. ROS-induced oxidative stress is closely related to pollen deterioration following cryopreservation. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 53, n. 4, p. 433-439, 2017.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill Maiden. **IPEF**, v. 24, p. 9-26, 1983.

KARTHA, K. K. **Cryopreservation of plant cells and organs**. Boca Raton: CRC Press, 1985. 276 p.

KARUN, A.; SAJINI, K. K.; NIRAL, V.; AMARNATH, C. H.; REMYA, P.; RAJESH, M. K.; ENGELMANN, F. Coconut (*Cocos nucifera* L.) pollen cryopreservation. **CryoLetters**, v. 35, n. 5, p. 407-417, 2014.

KEATLEY, M. R.; HUDSON, I. L. A comparison of long-term flowering patterns of box–ironbark species in Havelock and Rushworth forests. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 12, p. 279-292, 2007.

KERR, R. J.; DIETERS, M. J.; TIER, B.; DUNGEY, H. S. Simulation of comparative gains from four different hybrid tree breeding strategies. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 209–220, 2004b.

KERR, R. J.; DIETERS, M. J.; TIER, B.; DUNGEY, H. S. Simulation of hybrid forest tree breeding strategies. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 195–208, 2004a.

KHAN, S. A.; PERVEEN, A. N.; SARWAR, G. R. Germination capacity and viability in pollen of *Prunus amygdalus* Batsch (Rosaceae). **Pakistan Journal of Botany**, v. 45, n. 4, p. 1383-5, 2013.

KHAN, S. A.; PERVEEN, A. N. Germination capacity of stored pollen of *Solanum melongena* L., (Solanaceae) and their maintenance. **Pakistan Journal of Botany**, v. 38, n. 4, p. 921- 930, 2006.

KHANDURI, V. P.; SHARMA, E. C. M.; SINGH, E. S. P The effects of climate change on plant phenology. **Environmentalist**, v. 28, p. 143-147, 2008.

KHURANA, D. K.; KHOSLA P. K. Hybrids in forest tree improvement. In: MANDAL, A. K. GIBSON, G. L. (ed.). **Forest genetics and tree breeding**. New Delhi: CBS Publishers and distributors, 1998. p. 86–102.

KIRBY, E. G.; SMITH, J. E. Elutable substances of pollen grain walls. In: LINSKENS, H. F. (ed.). **Fertilization in higher plants**. North-Holland, Amsterdam, 1974. p. 127–130.

KLAEHN, F. U.; NEU, R. L. Hardwood pollen study. **Silvae Genetica**, v. 9, n. 2, p. 44-8, 1960.

KOPP, R. F.; MAYNARD, C. A.; ROCHA DE NIELLA, P.; SMART, L. B.; ABRAHAMSON, L. P. Collection and storage of pollen from *Salix* (Salicaceae). **American journal of Botany**, v. 89, n. 2, p. 248-52, 2002.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. **The Botanical Review**, v. 68, n. 2, p. 270-334, 2002.

KULUS, D. Managing plant genetic resources using low and ultra-low temperature storage: a case study of tomato. **Biodiversity and Conservation**, v. 28, n. 5, p. 1003-27, 2019.

LEE, C. W.; THOMAS, J. C.; BUCHMANN, S. L. Factors affecting in vitro germination and storage of jojoba pollen. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 110, n. 5, p. 671–676, 1985.

LEI, Y.; WANG, L.; HUANG, F.; DUAN, J.; LUO, Y.; KANG, Y.; YANG, H.; LI, S. Studies on pollen storage and vitality difference of tea plan varieties. **Pakistan Journal of Botany**, v. 52, n. 1, p. 305-309, 2020.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L. E.; LAVORANTI, O. J. Caracterização individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 26, 2007.

LIVINGSTON, G.K.; CHING, K. K. The longevity and fertility of freeze-dried Douglas-fir pollen. **Silvae Genet**ica, v. 16, n. 3, p. 98-101, 1967.

LUZA, J. G.; POLITO, V. S. Cryopreservation of English walnut (*Juglans regia* L.) pollen. **Euphytica**, v. 37, n. 2, p. 141-148, 1988.

MACHADO, C. D.; MOURA, C. R.; LEMOS, E. E.; RAMOS, S. R.; RIBEIRO, F. E.; LÉDO, A. D. Pollen grain viability of coconut accessions at low temperatures. **Acta Scientiarum**: Agronomy, v. 36, 2, p. 227-232, 2014.

MADHIBHA, T.; MUREPA, R.; MUSOKONYI, C.; GAPARE, W. Genetic parameter estimates for interspecific Eucalyptus hybrids and implications for hybrid breeding strategy. **New Forests**, v. 44, n. 1, p. 63-84, 2013.

MARCAR, N.; BUSH, D.; STEWART, L.; FALKINER, R.; CRAWFORD, D.; LARMOUR, J.; MYERS, B. Eucalypt taxa for low: to medium-rainfall farm forestry in south-eastern Australia. **Australian Forestry**, v. 74, n. 2, p. 112-119, 2011.

MARCHANT, R.; POWER, J. B.; DAVEY M. R.; CHARTIER-HOLLIS, J. M.; LYNCH, P. T. Cryopreservation of pollen from two rose cultivars. **Euphytica**, v. 66, n. 3, p. 235-41, 1992.

MARTIN. B. The benefits of hybridization. How do you breed for them? In: PROCEEDINGS of a conference on breeding tropical trees: population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry. Oxford: Oxford Forestry Institute; Winrock International, 1989. p. 79-92. Edited by: G. L. Gibson; A. R, Griffin; A. C. Matheson of the IUFRO Conference, Pattaya, Thailand, November 1988.

MARTINS, F. G.; IKEMORI, Y. K. Produção de híbridos de eucalipto na Aracruz. In: REUNIÃO SOBRE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS, 1987, Piracicaba. **Anais** [...]. Piracicaba: IPEF, 1987, p. 15-16.

MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. D. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de Eucalyptus spp. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 597-609, 2010.

MATTHEWS, F. R.; KAUS, J. Pollen storage. In: USDA FOREST SERVICE. **Pollen management handbook**. Washington, 1981. p. 37-39.

MAYER, E.; GOTTSBERGER, G. Pollen viability in the genus Silene (Caryophyllaceae) and its evaluation by means of different test procedures. **Flora**, v. 195, n. 4, p. 349-353, 2000.

MENCK, A. L.; ODA, S.; MARCHI, E. L.; KOVALSKI, M. E. Influence of the collection system of floral buds on the pollen viability of *Eucalyptus* spp. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, v. 43-44, p. 20-3, 1990.

MIRANDA, I. D. A.; CLEMENT, C. R. Germination and storage of the pejibaye pollen (*Bactris gasipaes* HBK, Palmae). **Revista de Biologia Tropical**, v. 38, n. 1, p. 29-33, 1990.

MISHRA, R.; SHIVANNA, K. R. Efficacy of organic solvents for storing pollen grains of some leguminous taxa. **Euphytica**, v. 31, n. 3, p. 991-5, 1982.

MORAN, G. F.; GRIFFIN, A. R. Recent breeding systems. **Silvicultura**, v. 8, n. 31, p. 552-555, 1983.

MORTAZAVI, S. M. H.; ARZANI, K.; E MOEINI, A. Optimizing storage and in vitro germination of date palm (*Phoenix dactylifera)* pollen, **Journal of Agriculture, Science and Technology**, v. 12, p. 181-189, 2010.

MUNHOZ, M.; LUZ, C. F. P. da.; MEISSNER FILHO, P. E.; BARTH, O. M.; REINERT, F. viabilidade polínica de *Caryca papaya* L.: uma comparação metodológica. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, n. 2, 2008.

NATH, J.; ANDERSON, J. O. Effect of freezing and freeze-drying on the viability and storage of *Lilium longiflorum* L. and *Zea mays* L. pollen. **Cryobiology**, v. 12, n. 1, p. 81-8, 1975.

NIKLES, D. G.; GRIFFIN, A. R. Breeding hybrids of forest trees: definitions, theory, some practical examples and guidelines on strategy with tropical acacias. **ACIAR Proceedings**, n. 37, p. 101–109, 1992.

NIKLES, D. G.; GRIFFIN, A. R. Breeding hybrids of forest trees: definitions, theory, some practical examples, and guidelines on strategy with tropical acacias. In: BREEDING TECHNOLOGIES FOR TROPICAL ACACIAS: proceedings of an international workshop held in Tawau, Sabah, Malaysia, 1-4 July 1991. **ACIAR Proceedings**, n. 37, 101-109, 1991. Edited by: L. T. CARON; K. M. AKEN.

NIKLES D. G.; NEWTON R. S. Correlations of breeding values in pure and hybrid populations of hoop pine and some southern pines in Queensland and relevance to breeding strategies. In: PROCEEDINGS of the 12th Meeting of the Research Working Group 1 of the Australian Forestry Council, 1991, Coonawarra. South Australia, 1991, p. 1–5.

NOGUEIRA, G. F.; CARVALHO, M. A. F.; DA SILVA, D. P. C.; VARGAS, D. P.; PAIVA, R.; NERY, F. C.; DA SILVA, G. A. Effect of glycerol as a cryoprotectant for castor bean pollen for different storage periods. **ISHS Acta Horticuturae**, n. 908, p. 97-100, 2011. Proceedings of the International Symposium on Cryopreservation in Horticultural Species, 1., Leuven, Belgium 2009.

NOVARA, C.; ASCARI, L.; LA MORGIA, V.; REALE, L.; GENRE, A.; SINISCALCO, C. Viability and germinability in long term storage of *Corylus avellana* pollen. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 295-303, 2017.

ODA, S.; FERREIRA, M. Produção de híbridos interespecíficos de eucaliptos por polinização aberta. **Silvicultura**, v. 8, n. 28, p. 407-408, 1983. Edição dos anais do Congresso Florestal Brasileiro, 4., 1982, Belo Horizonte.

OLIVER, A. E.; FISK, E.; CROWE, L. M.; DE ARAUJO, P. S.; CROWE, J. H. Evidence of phospholipase activity in phospholipid bilayers under conditions of low hydration. **Journal of Plant Physiology**, v. 150, n. 6, p. 661-7, 1997.

ÖZCAN, A. Effect of Low-temperature Storage on Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Pollen Quality. **HortScience**, v. 55, n. 2, p. 258-60, 2020.

ÖZCAN, A.; SUTYEMEZ, M.; BUKUCU, S. B.; ERGUN, M. Pollen viability and germinability of walnut: a comparison between storage at cold and room temperatures. **Feb-Fresenius Environmental Bulletin**, p. 1-111, 2019.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 7 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 141).

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. (Embrapa Florestas. Documentos, 129).

PARTON, E.; DEROOSE, R.; DE PROFT, M. Cryostorage of *Aechmea fasciata* pollen. **Cryo-letters**, v. 19, n. 6, p. 355-60, 1998.

PERVEEN, A.; ALIKHAN, R. A.; ABID, R. Maintenance of pollen germination capacity of *Carica papaya* L. (Caricaceae). **Pakistan Journal of Botany**, v. 39, n. 5, p. 403-6, 2007.

PERVEEN, A. N.; KHAN, S. A. Maintenance of pollen germination capacity of *Glycine max* (L.) Merr., (Papilionaceae). **Pakistan Journal of Botany**, v. 41, n. 5, p. 2083-6, 2009.

PERVEEN, A. N.; SARWAR, G. R. Pollen germination capacity of two cultivated species *Jasminum sambac* (L.) Ait and *Nycanthes arbor-tristis* L. of family Oleaceae. **Pakistan Journal of Botany**, v. 43, n. 4, p. 2109-12, 2011.

PIO, L. A.; RAMOS, J. D.; PASQUAL, M.; JUNQUEIRA, K. P.; SANTOS, F. C.; RUFINI, J. C. Viabilidade do pólen de laranjas doces em diferentes condições de armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 47-53, 2007.

POTTS, B. M.; DUNGEY, H. S. Interspecific hybridization of *Eucalyptus*: key issues for breeders and geneticists. **New Forest**, v. 27, p. 115–138, 2004.

POTTS, B. M.; POTTS W. C.; CAUVIN, B. Inbreeding and interspecific hybridisation in *Eucalyptus gunnii*. **Silvae Genetica**, v. 36, p .194-198, 1987.

POTTS B. M.; VOLKER, P. W.; DUNGEY H. S. Barriers to the production of interspecific hybrids in *Eucalyptus*. In: MASS PRODUCTION TECHNOLOGY FOR GENETICALLY IMPROVED FAST-GROWING FOREST TREE SPECIES, 1992, Bordeaux, France. **Symposium**. Bordeaux, Nangis: AFOCELIUFRO, 1992, p. 193–204.

PRYOR, L. D. Controlled pollination of *Eucalytpus*. **Proceedings of the Linnean Society of New South Wales**, v. 76, p. 135-139, 1951.

PRYOR, L. D.; JOHNSON, L. A. S. A Classification of the *Eucalypts*. **Taxon**, v. 21, n. 1, p. 192, 1971.

PRYOR, L. D. The inheritance of some characters in Eucalyptus, **Proceedings of the Linnean Society of New South Wales**, v. 77, p. 147-155, 1957.

PRYOR, L. D. An F1 hybrid between *Eucalyptus cinerea* F. Muell and *Eucalyptus robusta* Smith. **Proceedings of the Linnean Society of New South Wales**, n. 5/6, 1954.

RESENDE, M. D. V. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 47).

RESENDE, M. D. V.; ASSIS T. F. Seleção recorrente recíproca entre populações sintéticas multi-espécies (SRR-PSME) de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 57, p. 57-60, 2008.

RESENDE, M. D. V. de; BARBOSA, M. H. P. **Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 130 p.

RESENDE, M. D. V.; BARBOSA, M. H. P.; REZENDE, G. D. S.; AGUIAR, A. M.; DIAS, L. D. S.; STURION, J. A. Métodos e estratégias de melhoramento de espécies perenes: estado da arte e perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 2005, Gramado. **Anais** [...]. Passo Fundo: Embrapa Trigo: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2005.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Estratégias de melhoramento para eucaliptos visando a seleção de híbridos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 21, p. 49-60, 1990.

RESENDE, M. D. V.; LOPES P. S.; SILVA R. L.; PIRES I. E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, p. 63-78, 2008.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 435 p.

RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, E. B.; HIGA A. R. Utilização de índices de seleção no melhoramento de eucalipto. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 21, p.1-13, 1990.

RETIF, E. C. L.; STANGER, T. K. Genetic parameters of pure and hybrid populations of *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla* and implications for hybrid breeding strategy. **Southern Forests**: a Journal of Forest Science, v. 71, p. 133–140, 2009.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE M. D. V. Dominance effects in *Eucalyptus grandis, Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa, Queensland. Hybrid breeding and genetics of forest trees: proceedings. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

RODRIGUES, É. D. A. C.; SILVA ROSADO, S. C.; TRUGILHO, P. F.; SANTOS, A. M. Seleção de clones de Eucalyptus para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. **Cerne**, v. 14, n. 2, p. 147-152, 2008.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; RESENDE JÚNIOR, M. F. R.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2009.

SALAZAR, S. A.; DELGADO, E. A. B. Viabilidad de semillas de *Glycine max* (L.) utilizando la prueba de tetrazólio. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 89-98, 2018.

SANTOS, A. P.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, M. L.; REIS, G. G. Efeito da estaquia, miniestaquia, microestaquia e micropropagação no desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 29-38, 2005.

SEDGLEY, M.; HARBARD, J. Pollen storage and breeding system in relation to controlled pollination of four species of Acacia (Leguminosae: Mimosoideae). **Australian Journal of Botany**, v. 41, n. 5, p. 601-9, 1993.

SENULA, A.; KELLER, E. R. J. Pollen cryopreservation to support maintenance of a wild species collection of the genus Allium. **Acta Horticulturae**, n. 1039, 289-296, 2014.

SHEN, X. Hybridisation of forest tree species in China. In: QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa, Queensland. **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: proceedings. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 491-499. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

SILVA, L. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. 2008. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SIREGAR, I. Z.; SWEET, G. B. The impact of extraction and storage conditions on the viability of radiata pine pollen. **Silvae Genetica**, v. 49, n. 1, p. 10-4, 2000.

SNYDER, E. B. **Extracting, processing, and storing southern pine pollen**. New Orleans: U.S. Forest Service. Southern Forest Experiment Station, 1961. 14 p. (Occasional paper, Southern Forest Experiment Station, 191).

SNYDER, E. B.; CLAUSEN, K. E.Pollen handling. In: USDA FOREST SERVICE. **Seeds of woody plants in the United States**. Washington, 1974. p. 75-97.

SOARES, I. D.; AUER C. G.; SANTOS, A. F.; TAMBARUSSI, E. V.; REZENDE, E. H.; COELHO, T. D. V.; DUIN, I. M. Fungos associados à mancha foliar em *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage na Região Sul do Brasil. **Biofix Scientific Journal**, v. 2, n. 2, p. 32-37, 2017.

SOARES, T. L.; JESUS, O. N.; SANTOS-SEREJO, J. A.; OLIVEIRA, E. J. In vitro pollen germination and pollen viability in passion fruit (*Passiflora* spp.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1116-26, 2013.

SOUSA, A. S.; SANTOS, M. G.; PELACANI, C. R.; SANTOS, F. D. Testing culture media for pollen germination of *Elaeis guineensis* Jacq. (oil palm, Arecaceae). **Botanical journal of the Linnean Society**, v. 182, n. 2, p. 536-42, 2016.

SOUSA, V. A.; HIGA, R. C. Fenologia de florescimento e frutificação de *Eucalyptus dunnii*. Embrapa Florestas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 22/23, p. 9-19, 1991.

SOUSA, V. A. Criopreservação de pólen de *Eucalyptus* spp. Embrapa Florestas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 21, p. 15-19, 1990.

SOUSA, V. A. de. **Manejo e viabilidade de pólen de Eucalyptus *spp*.** 1988. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOUSA, V. A.; PINTO JÚNIOR, J. E. Efeito de solventes orgânicos na viabilidade de pólen de *Eucalyptus* spp. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 24/25, p. 9-17, 1992.

SOUSA, V. A. **Relatório do Convênio ESALQ/IPEF e Champion Papel e Celulose S.A**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 50 p. Apresentado à área de melhoramento florestal.

SOUSA-LANG, V. A.; PINTO JÚNIOR, J. E. Influência do meio de cultura na germinação do pólen de três espécies de Eucalyptus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 34, p. 45-54, 1997.

SOUZA, V. A.; GONÇALVES, A. N. Efeitos de solventes orgânicos na viabilidade de pólen de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5.;1986, Olinda. **Anais [...].** São Paulo: SBS, 1986. p.76, 1986.

SPRAGUE, J. R.; JOHNSON, V. W. Extraction and storage of loblolly pine *(Pinus taeda)* pollen. In: SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 14, Gainesville, 1977. **Proceedings [...].** Macon, Eastern Tree Seed, 1977. p.20-7.

STANLEY, R. G; LINSKENS, H. F. Pollen: **Biology, Biochemistry, Management**. Berlin: Springer-Verlag, 1974. 307 p.

TIBBITS, W. N. Controlled Pollination Studies with Shining Gum (*Eucalyptus nitens*, Deane and Maiden). **Forestry,** v. 62, p. 111-126. 1989.

TRINDADE, H.; BOAVIDA, L. C.; BORRALHO, N.; FEIJO, J. A. Successful fertilization and seed set from pollination on immature non-dehisced flowers of *Eucalyptus globulus*. **Annals of Botany**, v. 87, n. 4, p. 469-475, 2001.

TYAGI, A.; CONSIDINE, J. A.; MCCOMB J. Germination of verticordia pollen after storage at different temperatures. **Australian Journal of Botany**, v. 40, n. 2, p. 151-5, 1992.

VALE, E. D.; MOREIRA, S. O.; VASCONCELOS, L. F.; GUIMARÃES, A. R.; COSTA, M. D. Conservation and degreasing of bacury pollen grains. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 192-5, 2016.

VAN WYK, G. Pollen handling, controlled pollination and grafting of *Eucalyptus grandis*/ Stuifmeelhantering, Beheerde Bestuiwing En Ent Van *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, v. 101, n. 1, p. 47-53, 1977.

VARGAS, D. P.; PAIVA, R.; NOGUEIRA, G. F.; CARVALHO, M. A. F.; SILVA, D. P. C. da; NERY, F. C.; DA SILVA, G. A. Effect of glycerol as a cryoprotectant for castor bean pollen for different storage periods. **Acta Horticulturae**, v. 908, p. 97-100, 2011.

VENKARESH, C. S.; SHARMA, V. K. Hybrid vigour in controlled interspecific crosses of *Eucalyptus tereticomis* x *E. camaldulensis*. **Silvae Genetica,** v. 26, p. 121-124, l977b.

VENKATESH C. S.; SHARMA U. K. Rapid growth rate and higher yield potential of heterotic *Eucalyptus* species hybrid". **Indian Forester**, v. 13, p. 795-802, 1977b..

VERRYN, S. D. *Eucalytpus* breeding in South Africa. In: QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa, Queensland. **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: proceedings. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 191-199. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

VERRYN, S. D.; FAIRBANKS, D.; PIERCE B.; DYER C. Understanding the deployment of various eucalypt species and hybrids on a range of sites in southern Africa using fuzzy set logic. In: QFRI-IUFRO, 1996, Caloundra, Queensland. **Conference tree improvement for sustainable tropical forestry**: Proceedings. Queensland Forestry Research Institute, Gympie, Australia, 1996, v. 2, p. 347–350. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

VIÉITEZ CORTIZO, E. El uso del cloruro 2, 3, 5-trifeniltetrazolium para determinar la vitalidad del polen. **Annals of Plant Edaphology and Physiology**, v. 12, n. 12, p. 1033-1044, 1952.

VIGNERON, P.; BOUVET, J. M.; BOUVET, J. M.; GOUMA R.; SAYA, A.; GION J.M.; VERHAEGEN D. Eucalypt hybrids breeding in Congo. In: QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, 2000, Noosa, Queensland. **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: proceedings. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 14-26. Compiled by: H. S. Dungey; M. J. Dieters; D. Nikles.

VOLKER, P. Quantitative genetics of *Eucalypus globulus, E. nitens* and their F1 hybrid. 2002, 189 p. Thesis PhD-University of Tasmania, Hobart.

VOLKER, P. W.; BADCOCK, K.; GORE, P. L. Flowering patterns in a multi-provenance seed orchard of *Eucalyptus globutus.* In: RESEARCH WORKING GROUP Nº 1 OF THE AUSTRALIAN FORESTRY COUNCIL, FOREST GENETICS, 1988, Canberra. **Proceedings of Tenth Meeting.** Gympie: Australian Forestry Council. Canberra, 1988, p. 239-241.

WANG, B. S. P. The seeds and pollen storage for genetic conservation. Possibilities and limitation In: FAO. **The methodology of conservation of Forest Genetic Resources**. Rome, 1975, p. 93-103.

WANG, G.; YANG, M. Traits for indirect selection of wind-firmness in *E. grandis*, *E. urophylla* and hybrid clones. In: QFRI-IUFRO, 1996, Caloundra, Queensland. Conference tree improvement for sustainable tropical forestry: **Proceedings**. Queensland Forestry Research Institute, Gympie, Australia, 1996, v. 1, p. 173-177. Compiled by: M. Dieters; A. Matheson.; D. Nikles; C. Harwood; S. Walker.

WATT, M. P.; BLAKEWAY, F. C.; MOKOTEDI, M. E. O.; JAIN, S. M. Micropropagation of *Eucalyptus*. In: JAIN, S. M.; ISHII, K. (ed.). **Micropropagation of woody trees and fruits**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. p. 217-244.

WHITE, T. L.; ADAMS, W. T.; NEALE, D. B. (ed.). **Forest genetics**. [S.l.]: Cabi, 2007. 702 p.

WILLIAMS, D.; POTTS, B. M.; BLACK, P. O. Testing single visit pollination procedures for *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. **Australian Forestry**, v. 62, v. 4, p. 346-352, 1999.

XAVIER A.; COMÉRIO J. Microestaquia: uma maximização da micropropagação de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 20, p. 9-16, 1996.

XU, J.; LI, B.; LIU, Q.; SHI, Y.; PENG, J.; JIA, M.; LIU, Y. Wide-scale pollen banking of ornamental plants through cryopreservation. **CryoLetters**, v. 35, n. 4, p. 312-319, 2014.

YABUYA, T. Pollen storage of *Iris ensata* Thunb. in organic solvents and dry air under freezing. **Japanese Journal of Breeding**, v. 33, n. 3, p. 269-74, 1983.

6

Banco de sementes e a conservação de germoplasma de eucaliptos e corimbias pela Embrapa Florestas

Elisa Serra Negra Vieira

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O armazenamento de amostras de sementes por longo prazo, nos chamados bancos de sementes, é a principal estratégia para a conservação de germoplasma ex situ. A razão para a criação dos bancos de sementes é a conservação da biodiversidade das plantas, em função da possibilidade de ocorrência de desastres naturais, ataque de pragas e doenças e pela ação do homem. Além disso, as mudanças climáticas e também os processos de domesticação e de melhoramento genético reduzem a diversidade genética das espécies, podendo levar a perdas de genes de interesse.

Pelegrini e Balatti (2016) classificaram a evolução da conservação de germoplasma em bancos de sementes, em três estágios. Inicialmente, a conservação das sementes era realizada de forma primitiva, ainda nos primórdios da agricultura, envolvendo a manutenção de sementes para uso próprio e para trocas. Um segundo estágio, que ocorreu entre os séculos 16 e 19, compreendeu o transporte de sementes de culturas de valor econômico de regiões remotas para a Europa e, mais tarde, deste continente para suas colônias. Nesta época foram criados os primeiros jardins botânicos. O terceiro estágio se iniciou no século 20 e compreendeu a conservação das sementes como uma forma de garantir a conservação da biodiversidade, definindo o que atualmente deve ser um banco de sementes, ou seja, um reservatório da variabilidade genética das plantas existentes na natureza. Bancos de sementes podem ser considerados como bancos de genes, pois sementes de vários representantes de uma mesma espécie são coletadas e armazenadas, sendo mantida assim sua variabilidade.

A assinatura da Convenção sobre Diversidade Biológica, em 1992, reafirmou o caráter de conservação dos bancos de sementes. Desde então, vários bancos de sementes têm sido criados, havendo aproximadamente 1.750 bancos de plantas no mundo com 7,4 milhões de amostras (acessos) armazenados (FAO, 2014; Pellegrini; Balatti, 2016; Colville; Pritchard, 2019).

Entretanto, a maioria dos bancos de sementes é de espécies de culturas anuais, devido à sua importância para a alimentação. A partir de 2002, com a adoção da Estratégia Global para a Conservação de Plantas, segundo a qual no mínimo 75% das espécies de plantas globalmente ameaçadas de extinção deveria estar incluído em coleções *ex situ*, aumentou o número de amostras de sementes de espécies nativas, entre elas florestais, coletadas e armazenadas nos bancos de sementes (Liu et al., 2018).

Bancos de sementes de eucaliptos e corímbias da Embrapa Florestas

Em meados da década de 1980 a Embrapa Florestas, com o apoio do Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) e do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (Bird), realizou a coleta de sementes de várias espécies e procedências de eucalipto e corímbia na Austrália, as quais foram trazidas para o Brasil e cuja parte ainda se encontram armazenadas no banco de sementes do Laboratório de Análise de Sementes Florestais da Unidade. Estas introduções foram resultado de um grande esforço da Embrapa Florestas e de seus parceiros, constituídos por universidades, instituições de pesquisa e empresas públicas e privadas do setor florestal brasileiro, para garantir a disponibilidade de germoplasma de eucalipto e corímbias para o País, antevendo a possível perda de germoplasma por desastres naturais e ação do homem nas áreas de origem das espécies, ou pelo afunilamento da diversidade genética e fixação de características de interesse nos programas de melhoramento.

Sementes de cinquenta espécies de eucaliptos e corímbias foram armazenadas na Embrapa Florestas durante os últimos quarenta anos. Além das espécies coletadas na Austrália, foram também obtidas amostras de sementes de *E. grandis* da África do Sul; *E. urophylla* da Indonésia (regiões de Mandiri, Lewotobi e Monte Egon), *E. tereticornis* da Tailândia (região de Kanchanaburi) e *Corymbia polycarpa* da Nova Guiné, sendo as coletas realizadas entre os anos de 1981 e 1984, por iniciativa de algumas empresas florestais privadas brasileiras.

No banco de sementes da Embrapa Florestas existem aproximadamente 3.000 amostras de várias procedências de eucaliptos e corímbias, estando todas armazenadas em embalagem impermeável de vidro ou alumínio e em câmara de armazenamento sob temperatura de -5ºC. Vale ressaltar a importância que representa esse banco de sementes da Embrapa Florestas, em termos de recursos genéticos *ex situ* de eucaliptos e corímbias , uma vez que muitas áreas com populações naturais de eucaliptos na Austrália, principalmente de espécies de interesse ao Brasil, vêm sendo transformadas em parques nacionais, com indisponibilidade de acesso para a futura coleta de materiais genéticos ou não mais existem devido a catástrofes naturais ou intervenção humana.

Apesar da atual valorização da conservação dos recursos genéticos florestais e das ações que têm sido feitas neste sentido, aproximadamente 10.000 espécies arbóreas em nível global estavam em risco de extinção em 2017, de acordo com a Associação Internacional de Jardins Botânicos (Saritama, 2018). A Austrália, no período de 1996-2008, apresentou taxa de perda de biodiversidade na ordem de até 10%, segundo dados levantados por Waldron et al. (2017). É provável que algumas amostras armazenadas no banco de sementes de eucalipto e corimbia da Embrapa Florestas pertençam

a árvores que não existam mais em suas origens, uma vez que a Austrália possui áreas com a biodiversidade da flora altamente ameaçada, como a região oeste e as regiões de floresta do leste do país (New South Wales e Queensland). Em uma previsão dos efeitos das mudanças climáticas para os próximos 60 anos, González-Orozco et al. (2016) relataram uma provável diminuição de área geográfica para 657 espécies de eucalipto (incluindo corimbias) na Austrália, sendo 2,4% delas extintas.

O valor de um banco de sementes é maior quanto mais bem caracterizadas forem as amostras de sementes armazenadas, o que consiste na correta identificação taxonômica da planta, representatividade genética da espécie, número de indivíduos dos quais as sementes foram coletadas, localização geográfica com descrição do habitat e do fenótipo das plantas, sementes com viabilidade, longevidade e em quantidade suficiente para uso (Liu et al., 2018). Para muitas amostras de sementes de eucalipto coletadas na Austrália e armazenadas no banco de sementes da Embrapa Florestas, fotografias das árvores das quais foram coletadas estão disponíveis, sendo um registro das características de cada fenótipo (Figura 1).

Figura 1. Exemplares de árvore de *Eucalyptus grandis* (A) localizada a aproximadamente 30 Km a sudeste de Mareeba (Queensland), e árvore de *Eucalyptus cloeziana* (B) localizada em Blackdown Tableland (Queensland), utilizadas para coleta das sementes que compõem o banco de sementes de eucalipto da Embrapa Florestas.

Comparada à conservação in situ, a conservação *ex situ* em bancos de sementes apresenta vantagens como manutenção de grande parte da variabilidade das espécies em pequeno espaço físico e a relativa facilidade de coleta das sementes (Liu; Pritchard, 2009). Além disso, o custo da conservação *ex situ* corresponde a 1% do custo da conservação *in situ*, mesmo havendo custos com a coleta das sementes, seu processamento e monitoramento da viabilidade (Liu; Pritchard, 2009; Saritama, 2018). Outro ponto importante é o risco de perda das amostras, seja por danos físicos e genéticos que podem ocorrer nas áreas naturais. Apesar dessas vantagens, a conservação *in situ* e *ex* situ são complementares, sendo ideal a manutenção das duas formas.

Cuidados preconizados para o estabelecimento de um banco de sementes

Armazenamento de sementes ortodoxas no longo prazo

Em termos fisiológicos, as sementes são classificadas em ortodoxas, recalcitrantes e intermediárias, de acordo com seu comportamento frente à perda de água na etapa final do seu desenvolvimento e a manutenção da viabilidade durante o armazenamento. Esta é uma classificação clássica proposta por Robert (1973), a qual é amplamente conhecida e praticada na área de tecnologia de sementes.

Sementes que não perdem água durante o seu desenvolvimento, apresentando umidade superior a 20% após o ponto de maturidade fisiológica, e que não toleram o armazenamento em temperaturas baixas e negativas, são classificadas como recalcitrantes e intermediárias (Berjak; Pammenter, 2008). Por outro lado, sementes que toleram a dessecação no final de seu desenvolvimento, pois possuem todo o aparato fisiológico como sistemas antioxidantes, proteínas especificas e proteção contra danos moleculares devido à perda de água, são classificadas como ortodoxas (Berjak; Pammenter, 2008). Essas sementes também suportam o armazenamento sob temperaturas baixas e negativas, sendo possível sua conservação por longo período, em bancos de sementes.

Especificamente para sementes de espécies florestais, Bonner (1990) propôs a seguinte classificação em termos de comportamento no armazenamento: sementes ortodoxas verdadeiras (toleram a secagem sob umidade inferior a 10% e armazenamento sob temperaturas abaixo de 0 ºC); sementes sub-ortodoxas (apresentam menor longevidade quando comparadas às ortodoxas verdadeiras, nas mesmas condições de armazenamento); sementes recalcitrantes temperadas (não toleram a secagem sob baixos teores de água, mas toleram o armazenamento no longo prazo, em condições de congelamento); sementes recalcitrantes tropicais (armazenadas com elevado teor

de água e apresentam sensibilidade à dessecação e em baixas temperaturas). Sementes dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* são ortodoxas verdadeiras e, assim, podem ser conservadas em bancos de sementes, por muitos anos, mantendo sua viabilidade, desde que armazenadas nas condições corretas de temperatura e umidade.

Bancos de sementes convencionais, nos quais são mantidas estritamente amostras de sementes ortodoxas, adotam procedimentos de armazenamento padronizados pela comunidade internacional (CDB, 2002; FAO, 2014). Tais procedimentos compreendem a verificação da umidade inicial da amostra de sementes, sua redução para 15% e posterior verificação da viabilidade mínima de 85% após a secagem, realizada pelo teste de germinação. Confirmada a viabilidade, as sementes são colocadas em embalagem impermeável e armazenadas em câmaras com temperatura de -20 °C. A embalagem adequada para a conservação de sementes ortodoxas em bancos de sementes, por longo período é a de folhas de alumínio, tendo sido relatada na literatura a manutenção da viabilidade de sementes ortodoxas por até 25 anos, quando armazenadas neste tipo de embalagem, nas condições ambientais apropriadas (van Treuren et al., 2013).

A redução da umidade das sementes e armazenamento em temperatura baixa é essencial, pois a longevidade das mesmas é afetada por dois principais fatores que são a umidade e a temperatura do ambiente de armazenamento, além da viabilidade inicial (Roberts, 1982; Koo et al. 2003).

Em intervalos de dez anos devem ser realizados testes de germinação para a verificação da viabilidade das sementes armazenadas e, estando a germinação menor que 85%, novas sementes devem ser coletadas e depositadas no banco de sementes (CDB, 2002; FAO, 2014). Um acompanhamento mais rigoroso da longevidade das amostras de sementes pode ser feito por meio de testes de germinação a cada três anos e devendo a viabilidade ser de 85% da viabilidade inicial da amostra. Tais recomendações são adotadas como uma regra geral, no entanto deve-se considerar as particularidades de cada espécie e sua situação de vulnerabilidade na natureza, no que diz respeito ao desaparecimento das fontes originais de semente devido a várias causas.

Na literatura é relatado que, mesmo tendo sido adotado o procedimento acima descrito, com redução de umidade e armazenamento em temperatura negativa e o posterior monitoramento da viabilidade das amostras nos bancos de sementes, 26% das coleções de sementes ortodoxas de várias espécies foram perdidas após 20 anos de armazenamento (Probert et al., 2013). Este procedimento, adotado por todos os bancos de sementes para o monitoramento da viabilidade, foi estabelecido com base em informações obtidas de estudos com sementes de culturas anuais. Assim, para espécies florestais talvez os parâmetros de umidade e temperatura de armazenamento, bem como o valor limite de 85% de viabilidade, possam ser diferentes. Fantinatti e Usberti (2007), empregando a equação de predição da longevidade de sementes

ortodoxas proposta por Ellis e Roberts (1984), ajustada para sementes de *Eucalyptus grandis,* concluíram que estas*,* com umidade de 7,5% e armazenadas na temperatura de 4 °C apresentariam redução da viabilidade de 85% para 50%, em um período de aproximadamente 20 anos.

A análise de sementes na conservação de germoplasma

Quanto menor a umidade das sementes armazenadas e menor a temperatura do ambiente de armazenamento, maior será sua longevidade (Ellis; Robert, 1984). Portanto, a determinação da umidade e da viabilidade das sementes, que compreendem etapas da análise de sementes, deve ser realizada.

A determinação do teor de água das sementes é realizada empregando-se o teste de umidade recomendado pelas Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2009), sendo propostos três métodos de secagem: em estufa sob temperatura de 105 °C ± 3 °C por 24 horas, em estufa sob baixa temperatura 101-105 °C por 17 horas ± 1 hora e em estufa sob alta temperatura 130-133 °C por até quatro horas. Para sementes dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* o método de referência é a secagem em estufa sob baixa temperatura, mas sendo também utilizado o método de secagem em estufa sob temperatura de 105 °C.

A quantidade de sementes necessária para a determinação da umidade das sementes é de, no mínimo, duas repetições de 4,5 g ± 0,5 g o que, muitas vezes, é uma quantidade grande para amostras que já possuem uma pequena quantidade de sementes armazenadas, considerando o tamanho das sementes dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua disponibilidade desde a coleta. Assim, a utilização de métodos não destrutivos para a determinação do teor de água é importante, como o método de equilíbrio de umidade relativa (eRH) que consiste na medição do equilíbrio higroscópico de uma amostra de sementes colocada em um recipiente fechado. Quando a umidade relativa atinge valores entre 25% e 30%, as sementes estarão com aproximadamente 8% de umidade, sendo este um valor ideal para o armazenamento das mesmas, no longo prazo e manutenção da viabilidade por sete a dez anos (Vankus; Karrfalt, 2017).

Para a determinação da viabilidade das amostras em bancos de sementes, os testes que podem ser empregados são o teste de germinação, teste de tetrazólio e raio-X (Vankus; Karrfalt, 2017). No entanto, para sementes dos gêneros *Eucalyptus e Corymbia*, o teste de germinação por repetições pesadas é o indicado, devido ao pequeno tamanho de suas sementes. A metodologia do teste varia de acordo com a espécie, em termos de temperatura para a sua condução e duração do mesmo, sendo essas informações encontradas nas RAS (Brasil, 2009), Instruções para Análise de Sementes de Espécies Florestais (Brasil, 2013) e regras da ISTA (2015).

Considerações finais

Sementes ortodoxas, como as de eucaliptos e corímbias, apesar de apresentarem longevidade quando armazenadas nas condições ideais de umidade e ambiente com temperatura negativa, ainda podem perder a viabilidade. Dessa forma, o congelamento em nitrogênio líquido, denominado criopreservação, tem sido recomendado para sementes ortodoxas de várias espécies, sendo necessário o desenvolvimento de metodologias específicas.

Em relação ao banco de sementes de eucaliptos e corímbias da Embrapa Florestas, após quase 40 anos de armazenamento, as amostras de sementes devem ser avaliadas quanto à viabilidade pelo teste de germinação, sendo assim necessário pessoal treinado em análise de sementes para a realização dos testes.

Além disso, com a disponibilidade de um grande número de marcadores moleculares desenvolvidos para o gênero *Eucalyptus*, a caracterização molecular das amostras armazenadas poderia ser realizada e, a partir do conhecimento das frequências alélicas, alelos raros poderão ser identificados, bem como a divergência entre as amostras das várias espécies armazenadas. Tal informação possui grande utilidade para os programas de melhoramento em andamento ou a serem iniciados, de forma a orientar cruzamentos e a identificar características de interesse.

Neste sentido, o banco de sementes de eucaliptos e corímbias da Embrapa Florestas possui as funções de apoiar o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à tecnologia de sementes, fornecer genótipos para os programas de melhoramento e apoiar a conservação de recursos genéticos das referidas espécies.

Referências

BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W.; From Avicennia to Zizania: seed recalcitrance in perspective. **Annals of Botany**, v. 101, n. 2, p. 213–228, 2008. DOI: https://doi.org/10.1093/aob/mcm168.

BONNER, F. T. Storage of seeds: potential and limitations for germplasm conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 35, n. 1-2, p. 35-43, 1990.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. Brasília, DF, 2013. 98 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 398 p.

CDB. Convention on Biological Diversity. **Global strategy for plant conservation**. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2002.

COLVILLE, L.; PRITCHARD, H. W. Seed life span and food security. **New Phytologist**, v. 224, n. 2, p. 557-562, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/nph.16006.

ELLIS, R. H. The meaning of viability. In: DICKIE, J. B.; LININGTON, S. H.; WILLIAMS, J. T. **Seed management techniques for gene banks**: a report of a workshop. Rome: International Board for Plant Genetic Resources, 1984. 294 p.

ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. Improved equations for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany**, v. 4, p. 13-30, 1980.

EMBRAPA RECURSOS GENÉTICOS E BIOTECNOLOGIA. **Alelo**: Banco de Germoplasma da Embrapa. Disponível em: http://alelobag.cenargen.embrapa.br/AleloConsultas/Passaporte/buscaNc. do. Acesso em: 6 ago. 2019.

FANTINATTI, J. B.; USBERTI, R. Seed viability constants for *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 111-117, 2007.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture**. Roma, 2014. 182 p.

GONZÁLEZ-OROSCO, C. E.; POLLOCK, L. J.; THORNHILL, A. H.; MISHLER, B. D.; KNERRR, N.; LAFFAN, S. W.; MILLER, J. T.; ROSAUER, D. F.; FAITH, D. P.; NIPPERESS, D. A.; KUJALA, H.; LINKE, S.; BUTT, N.; JULHEIM, C.; CRISP, M. D.; GRUBER, B. Phylogenetic approaches reveal biodiversity threats under climate change. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 1110-1114, 2016. DOI: https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3126.

HAY, F. R.; PROBERT, R. J. Advances in seed conservation of wild plant species: a review of recent research. **Conservation Physiology**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2013. DOI: https://doi.org/10.1093/conphys/cot030.

ISTA. Internacional Rules for Seed Testing. **Internacional seed testing association**. Zurich, Switzerland, 2015.

KOO, B.; PARDEY, P. G.; WRIGHT, B. D. The economic costs of conserving genetic resources at the CGIAR centres. **Agricultural Economics**, n. 29, v. 3 p. 287-297, 2003. DOI: https://doi.org/10.1016/S0169-5150(03)00056>-2.

LI, De-Z.; PRITCHARD, H. W. The science and economics of ex situ plant conservation. **Trends in Plants Science**, v. 14, n. 11, p. 614-621, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.09.005.

LIU, W.; BREMAN, E.; COSSU, T. Z.; KENNEY, S. The conservation value of germplasm stores at the Millennium Seed Bank, Royal Botanic Gardens, Kew, UK. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 6, p. 1347-1386, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s10531-018-1497-y.

PELLEGRINI, P. A.; BALATTI, G. E. Noah´s arks in the XXI century: a typology of seed banks. Biodiversity and Conservation, v. 25, n. 13, p. 2753-2769, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s10531-016-1201-z.

ROBERTS, E. H. Monitoring seed viability in gene banks. In: DICKIE, J. B.; LININGTON, S. H.; WILLIAMS, J. T. **Seed management techniques for gene banks**: proceedings… Londres: Royal Botanical Gardens, 1982.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**, v. 1, n. 3, p. 499-514, 1973.

RUSSIAN INSTITUT OF PLANT GENETIC RESOURCES. **PGR database**. Saint-Petersburg, [2019]. Disponível em: http://db.vir.nw.ru/virdb/maindb?lang=en. Acesso em: 8 ago. 2019.

SARITAMA, J. M. R. Conservación de semillas: una alternative inmediata para almacenar germoplasma forestall y recuperar los bosques secos amenazados del Ecuador. **Neotropical Biology and Consevation**, v. 13, n. 1, p. 74-85, 2018.

SVALBARD GLOBAL SEED BANK. Alnarp: Nordgen, [2019]. Disponível em: https://www.nordgen.org/en/global-seed-vault/search-seed-vault/. Acesso em: 12 ago. 2019.

US NATIONAL PLANT GERMPLASM. Disponível em: https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/search.aspx>. Acesso em: 10 set. 2019.

VAN TREUREN, R.; DE GROOT, E. C.; VAN HINTUM, T. J. J. L. Preservation of seed viability during 25 years of storage under standard gene bank conditions. **Genetic Resources and Crop Evolution**, n. 60, v. 4, p. 1407-1421, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-012-9929-0.

VANKUS, V. G.; KARRFALT, R. P. The role of seed analysis in genetic conservation. In: WORKSHOP ON GENE CONSERVATION OF TREE SPECIES – BANKING ON THE FUTURE, 2016, Chicago, Illinois, USA. **Proceedings**… Portland, Oregon: Pacific Northwest Research Station, 2017. p. 158-162.

WALDRON, A.; MILLER, D. C.; REDDING, D.; MOOERS, A.; KUHN, T. S.; NIBBELINK, N.; ROBERTS, J. T.; TOBIAS, J. A.; GITTLEMAN, J. L. Reductions in global biodiversity loss predicted from conservation spending. **Nature**, v. 551, p. 364-367, 2017. DOI: https://doi.org/10.1038/nature24295.

7

Regiões mais favoráveis ao crescimento e produção de madeira de eucalipto na região Sul do Brasil

Marcos Silveira Wrege
Marilice Cordeiro Garrastazu
Márcia Toffani Simão Soares
Elenice Fritzsons

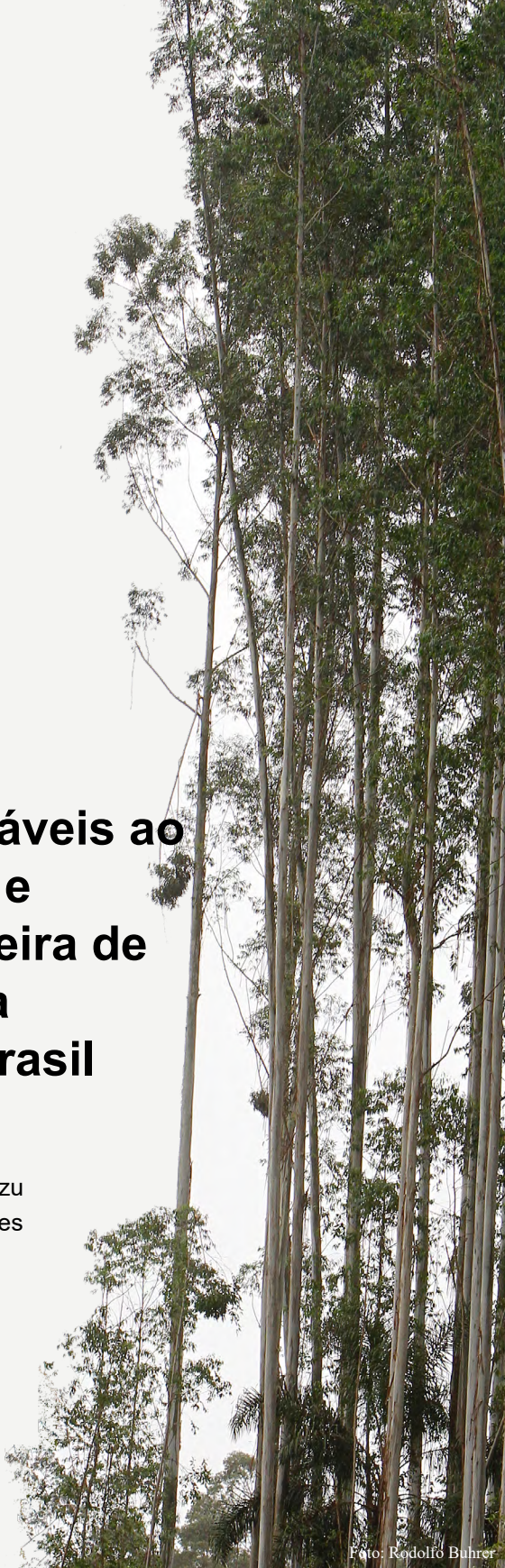


Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O setor florestal brasileiro, em conjunto com os demais setores da agropecuária (agricultura, pecuária e frutíferas), dominou o conhecimento de técnicas de cultivo em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, alcançando produções cada vez maiores, praticamente sem expansão significativa de área plantada nas últimas décadas. Este ganho ocorreu, em parte, em função do desenvolvimento do melhoramento genético, mas também às ações voltadas ao planejamento de uso da terra, como a realização e execução do zoneamento agrícola de riscos climáticos (Zarc).

Em primeiro lugar, é importante ressaltar que o primeiro zoneamento para espécies florestais, usado como referência até hoje, foi o de Golfari et al. (1978). Na época, o zoneamento foi realizado via Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal do Brasil (Prodepef) e foi bastante utilizado por diferentes profissionais do setor de florestas plantadas no Brasil. Este zoneamento é ainda muito utilizado pelo setor florestal. A metodologia, no entanto, é diferente da utilizada no ZARC, em função da disponibilidade de dados que havia na época.

O zoneamento atual, vinculado ao seguro rural e ao crédito agrícola, foi criado para atender a uma demanda do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), com a finalidade de reduzir o déficit, a sinistralidade e as coberturas duvidosas do programa, o qual utilizava metodologias inadequadas que, associadas à escassez de recursos públicos, inviabilizavam a sua continuidade nos moldes originais (Cunha; Assad, 2001). Era, portanto, necessário criar uma metodologia baseada nos riscos climáticos, o que foi feito a partir de 1996 com a criação de um grupo de trabalho liderado pela Embrapa, com a participação de instituições parceiras, principalmente os institutos estaduais de pesquisa agropecuária, tais como: Instituto Agronômico Paraná (Iapar), Instituto Agronômico (IAC), Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (Fepagro), dentre outros.

O zoneamento agrícola, nome dado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) na época, ano de 1996, embora utilize o termo 'agrícola', na verdade representa todas as culturas agrícolas, florestais, frutíferas e a pecuária. Assim, neste capítulo será utilizado o termo zoneamento agrícola, ou Zarc, para representar todos estes setores.

O Proagro foi estabelecido pela Lei 5.969, de 11 de dezembro de 1973 (Brasil, 1973). Com a adoção do zoneamento agrícola, em 1996, passou-se a trabalhar de maneira diferenciada, com baixo custo, devido à redução dos riscos climáticos e aumento da produtividade agrícola. Nesta época, trabalhos feitos com embasamento técnico e científico começaram a dar suporte ao programa, entre os quais os zoneamentos das culturas do trigo, feijão (Caramori et al., 1998, 2001b), milho (Gonçalves et al., 2002), soja, algodão, arroz de sequeiro, café (Caramori et al., 2001a), maçã,

eucalipto (Cunha; Assad, 2001; Flores et al., 2009; Filippini Alba et al., 2011; Higa et al., 2014; Wrege et al., 2017a).

O zoneamento agrícola oficial do Mapa, instituído em 1996, teve a primeira espécie florestal mapeada, o eucalipto, em 2009 (Flores et al., 2009; Filippini Alba et al., 2011; Higa et al., 2014; Wrege et al., 2017a). Os critérios foram feitos em nível regional, o que permitiu atender as especificidades de cada região e os riscos climáticos foram analisados em conjunto com a fenologia da planta, por estado, considerando as características climáticas regionais.

No entanto, o ZARC feito pela Embrapa e instituições parceiras nem sempre foi o utilizado pelo Mapa, visando atender as demandas do Proagro e do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), como é o caso do zoneamento do eucalipto. Contudo, a equipe, a base de dados e os critérios usados foram os mesmos. O objetivo do zoneamento agrícola para o eucalipto é indicar aos produtores quais são as zonas com os menores riscos climáticos para plantio das principais espécies comerciais de eucalipto. Seguindo-se as recomendações do zoneamento, diminui o risco de ocorrência de sinistros, mas diminuir não significa "zerar" e, portanto, ainda existem riscos, e pelos critérios adotados pelo Mapa, são aceitos até 20% de risco de insucesso, o que confere possibilidade de uma perda de produção, na média, a cada cinco anos, causada por eventos climáticos adversos, como geada ou estiagem severa. Esse valor, estipulado com base em dados econômicos, foi calculado pelo Mapa e é a perda que seria possível de ser assumida, sem comprometer a sustentabilidade do sistema de seguro rural.

O zoneamento elaborado pela Embrapa e instituições parceiras é feito em nível de espécie, de cultivar ou de variedade e, em muitos casos, as variações microclimáticas e edáficas são consideradas em nível de município. Na maioria dos casos, não são ainda considerados os solos, em virtude da escala ser ainda muito pouco detalhada, 1:250.000 ou 1:500.000, dependendo da região. Atualmente, existe um grupo de trabalho empenhado em melhorar a escala dos solos no Brasil, para que possa ser utilizado nos zoneamentos futuros. Existem alguns trabalhos regionais isolados utilizando os solos em escala semidetalhada (1:10.000 ou 1: 50.000), que serão apresentados neste capítulo, como exemplo do que poderá ser feito no futuro, quando a escala de solos no País for melhorada.

Nos primeiros zoneamentos de riscos climáticos, feitos a partir de 1996, as equipes regionais de agrometeorologistas se reuniam com as equipes de pesquisadores responsáveis pelos programas voltados ao desenvolvimento das culturas regionais e elaboravam as ações conjuntas de planejamento para a elaboração do zoneamento. Para isso, as atividades de parceria entre Embrapa e instituições estaduais eram imprescindíveis, tais como Iapar, Epagri, Fepagro, IAC, entre outras. Depois dos riscos serem calculados e geoespacializados, era apresentada uma primeira versão de zoneamento para a equipe de trabalho, que o analisava criticamente e apresentava sugestões de melhoria,

visando construir um instrumento de redução de riscos climáticos eficaz para uso dos agricultores e garantir a sustentabilidade do sistema de crédito agrícola e seguro rural no País.

Quanto aos critérios relacionados aos riscos climáticos, na região Sul do Brasil, eram considerados os riscos de geada e o risco de déficit hídrico. Estes dois fatores representam os maiores riscos para a agricultura, conforme ilustra a Figura 1. Nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, considerava apenas o risco de déficit hídrico, e era então utilizado o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), porque o risco de geada nestas regiões é muito raro, exceto nas zonas de altitude de São Paulo e no Sul de Minas Gerais.

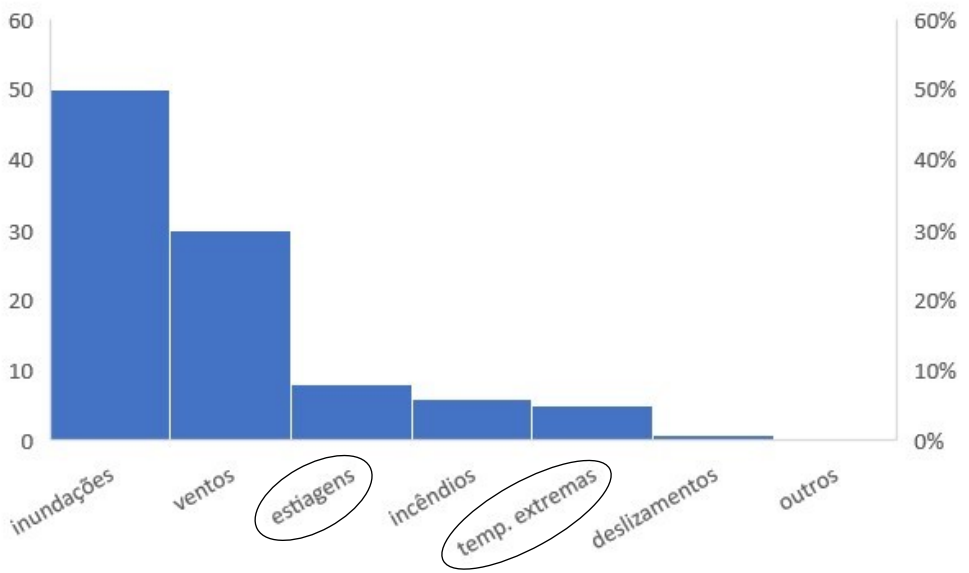


Figura 1. Principais fatores climáticos causadores de danos econômicos no mundo.

Neste capítulo, são apresentadas e analisadas as ações desenvolvidas pela Embrapa e instituições parceiras para o eucalipto, quanto aos zoneamentos agrícolas feitos na região Sul do Brasil, nos últimos anos. Serão também apresentadas ações futuras, com perspectivas de melhoria dos trabalhos a serem desenvolvidos nos próximos anos, visando dar suporte às políticas agrícolas e, com riscos climáticos reduzidos, de modo a garantir a sustentabilidade do crédito agrícola e do seguro rural no Brasil.

Assim, são apresentados os zoneamentos agrícolas de riscos climáticos e edafo-climáticos feitos pela Embrapa e seus parceiros, incluindo como exemplo para o

desenvolvimento de trabalhos futuros, o zoneamento edafoclimático em escala semidetalhada para o eucalipto na região do Corede Sul (Conselho Regional de Desenvolvimento), conjunto de municípios vizinhos com características comuns situados na metade sul do Rio Grande do Sul. A escala deste zoneamento foi 1:50.000 e, diferentemente de outros zoneamentos agrícolas, foram adicionados atributos de solos, além das variáveis de clima, compondo um zoneamento edafoclimático, o qual, se adotado futuramente pelo Mapa, poderá reduzir os riscos e aumentar ainda mais a segurança do sistema de crédito agrícola e seguro rural no País.

Metodologia aplicada ao zoneamento agrícola

Na elaboração do zoneamento agrícola, as primeiras ações são voltadas à conferência da completude, consistência e dos erros existentes na base de dados climáticos, que deve ser composta por uma rede de estações meteorológicas bem distribuídas em todo o território, com histórico de dados climáticos diários de, pelo menos, 30 anos, de acordo com as normas estabelecidas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), para o cálculo das normais climatológicas. Os dados mais importantes para as análises são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica. Com estas duas variáveis climáticas, pode-se estimar o ciclo da planta pela soma térmica e calcular os riscos de geada, de déficit hídrico e de pluviosidade nas fases críticas de desenvolvimento da cultura no campo.

A partir destes dados, as ações seguintes se referem a sua geoespacialização em sistemas de informações geográficas (SIG), por meio de técnicas de mapeamento e, assim, são classificadas as melhores zonas e períodos para o plantio. O mapa de altitude é usado como suporte para o mapeamento das temperaturas e do risco de geada, conforme metodologia desenvolvida por Pinto et al. (1972), utilizada por Wrege et al. (2011).

Zoneamento agrícola de riscos climáticos - critérios usados para definição das classes de preferência

Risco de déficit hídrico

No caso do eucalipto, o risco de déficit hídrico é mais relacionado à diminuição do incremento médio anual (IMA) do que pela perda de plantas, pelo fato de ser uma espécie perene, com ciclo comercial de sete anos, em média. Este risco pode ser um problema no primeiro ano de plantio, nas regiões mais secas do País. Na região Sul dificilmente ocorre problema mais grave.

O déficit hídrico é calculado segundo metodologia utilizada e descrita por Wrege et al. (1997) e é simplificadamente representado pelo esquema da Figura 2, envolvendo o conceito do balanço hídrico. O risco de déficit hídrico (dh) é calculado pela análise percentual de quantos dias (x), a cada dez dias, ocorre déficit hídrico, utilizando a fórmula:

$$dh = (\frac{x}{10})100$$

O cálculo do risco de deficiência hídrica (Figuras 2 e 3) é feito para estimar quais são as regiões e os períodos do ano mais favoráveis para o plantio, com baixo risco de ocorrência de déficit hídrico, podendo-se efetuar o plantio, com a garantia de boa produtividade, sem a necessidade de irrigação. Com isso, pode-se reduzir bastante a ocorrência de sinistros causada pela falta ou escassez de chuva. Na Figura 3, apresentada como exemplo, verifica-se que, no verão, o risco de déficit hídrico é maior na metade sul do Rio Grande do Sul e menor na metade norte, onde inclusive a produtividade de grãos, na maioria dos casos, é bem maior. Na região da fronteira oeste, os riscos são bastante elevados nesta época do ano (> 40%, ou seja, a cada dez anos, em pelo menos quatro anos ocorre déficit hídrico). No outono e na primavera, os riscos diminuem e no inverno não há risco. Estes dados de risco são utilizados para fazer o

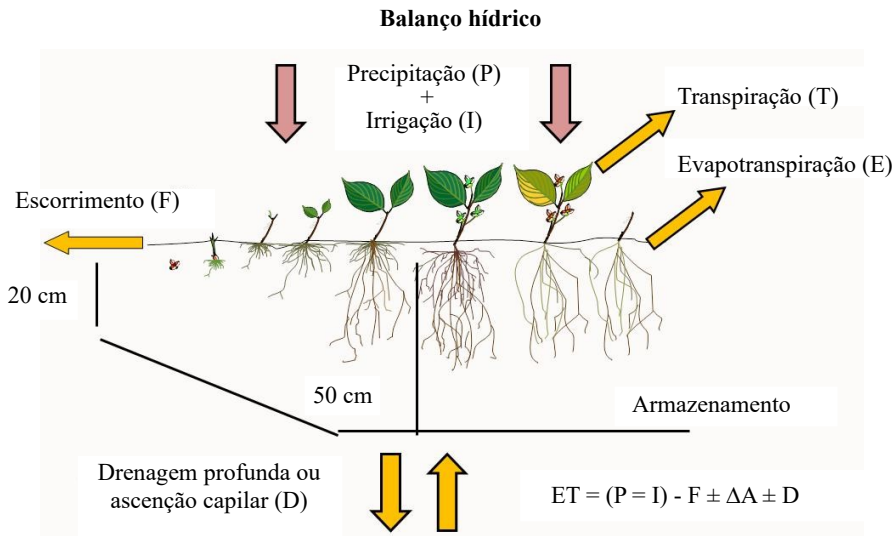


Figura 2. Representação esquemática do balanço hídrico, com a entrada de água no sistema solo-planta-atmosfera pela Precipitação (P) + Irrigação (I) + Ascensão capilar (F); saída de água do sistema pela Evapotranspiração (ΔA) + Drenagem profunda (D) e o Armazenamento de água no solo resultante entre o que havia armazenado no dia anterior, somado ao movimento de entradas e saídas de água que ocorreram no dia.

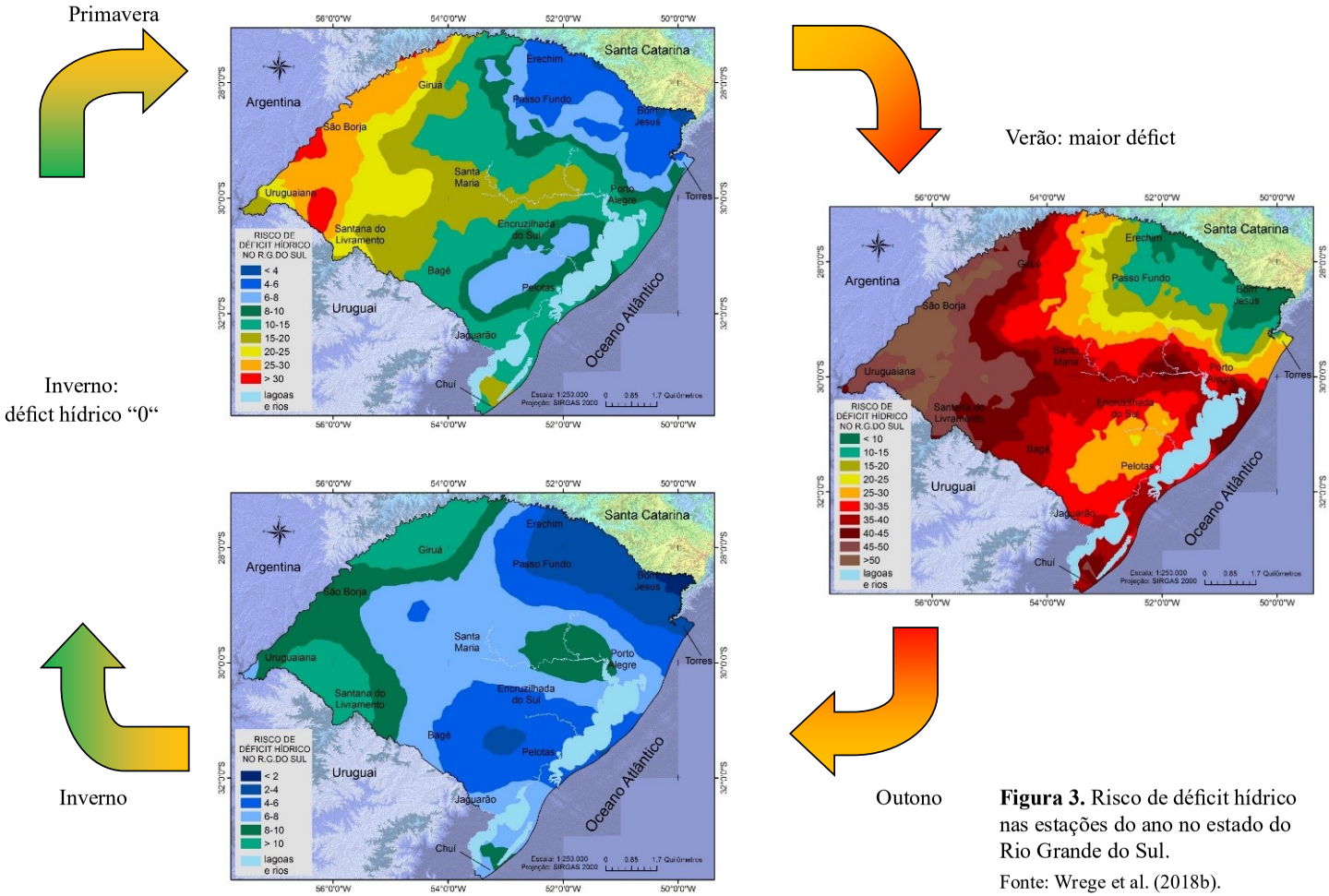


Figura 3. Risco de déficit hídrico nas estações do ano no estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Wrege et al. (2018b).

zoneamento agrícola. Pode-se observar o quanto são variáveis as condições climáticas no País, muitas vezes observadas em nível de municípios (Wrege et al., 2018a).

Risco de geada

O risco de geada é importante na região Sul do Brasil. Nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, este risco é o que define as regiões e os períodos com os menores riscos para plantio, seguido do risco de déficit hídrico. A época de semeadura é variável conforme a região e a cultura, podendo ser feita quando o risco cair para um valor mínimo (<20% - valor de referência definido pelo Proagro/Mapa) (Figura 3).

O risco de geada é calculado indiretamente, por meio da temperatura mínima, pois existe uma relação direta entre a temperatura mínima que ocorre no abrigo meteorológico e a ocorrência de geada. Essa relação foi definida por Grodzki et al. (1996), que considerou uma diferença de 3 °C a 4 °C entre a temperatura registrada no abrigo e a relva. Assim, quando a temperatura mínima é 3 °C no abrigo na relva é 0 °C, podendo causar prejuízos econômicos às lavouras. O risco de geada é calculado desta forma, pois raramente existem informações sobre ocorrência de geada na rede de estações meteorológicas existente no Brasil. A observação visual de ocorrência de geada é uma informação subjetiva, dependendo da percepção pessoal do observador meteorológico e, portanto, de baixa confiabilidade. Além disso, a temperatura que pode causar danos para uma espécie pode ser diferente para outra e esse dado é o realmente importante.

O risco de geada (rg) é determinado percentualmente pelo número de dias (x) com temperaturas mínimas menores que 1 °C, 2 °C ou 3°C (dependendo da cultura) registradas no abrigo meteorológico a cada dez dias, conforme a fórmula:

$$rg = (\frac{x}{10})100$$

A probabilidade de ocorrência de geada para a região Sul do País foi calculada pela "Regra de Distribuição de Extremos" e foi descrita no trabalho desenvolvido por Wrege et al. (2018a).

A Figura 4 apresenta um gráfico do comportamento do risco de geada em várias localidades ao longo do ano, no estado do Paraná. Existe um período de menor risco, indicado para o plantio, variável conforme o município, dependendo da latitude e da altitude. Por exemplo, os municípios de Umuarama e de Londrina têm latitudes e altitudes menores e, portanto, as temperaturas são maiores. Com isso, o risco de geada é menor e a amplitude do período para plantio é maior. Os municípios de Guarapuava e de Palmas, ao contrário, têm maiores latitudes e altitudes, são de clima mais frio e os riscos de geada são maiores e a amplitude do período de plantio é menor.

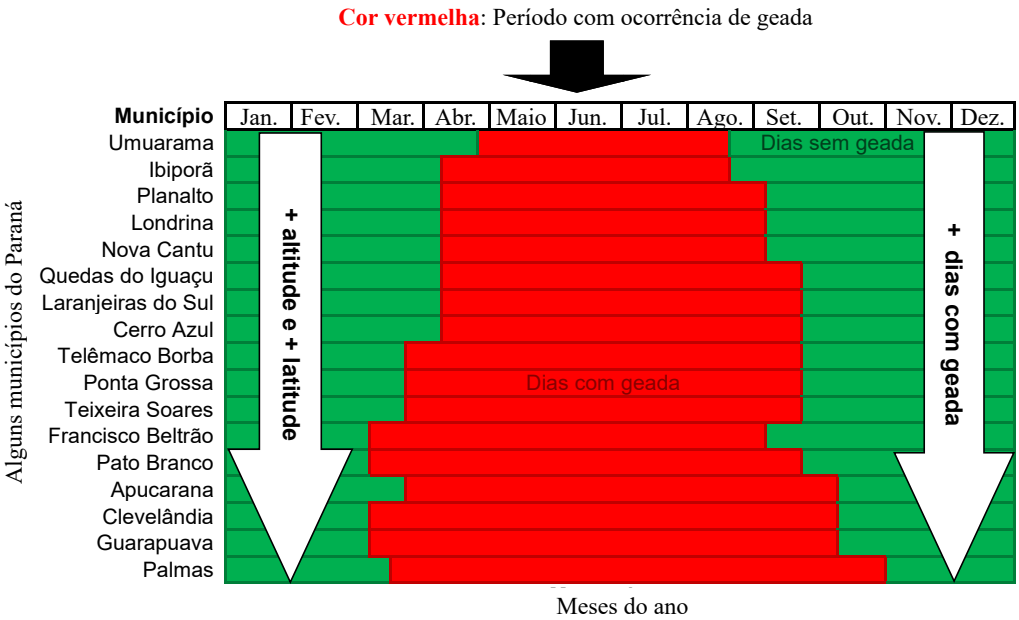


Figura 4. Representação esquemática do risco de geada. Barras vermelhas: período com alto risco de geada (outono-inverno) e barras verdes: período com baixo risco de geada (primavera-verão - risco <20%), quando a cultura pode ser implantada no campo. Municípios organizados em ordem crescente de dias com ocorrência de geada. (Os municípios apresentados são aqueles onde estão localizadas as estações meteorológicas do Paraná, monitoradas pelo Iapar/Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar).

Na elaboração do zoneamento, muitas camadas de clima são usadas, como as camadas da Figura 5 (Wrege et al., 2018a), apresentadas como exemplo, onde se pode observar que o risco de geada nos meses de junho e julho (meses mais frios do ano) é menor no norte e noroeste do Paraná (<30%) e é maior no sul do estado (>30%), devido à combinação da altitude e da latitude. O Paraná fica no paralelo 23 °S (Trópico de Capricórnio), na transição do clima tropical para o temperado e, ao sul deste paralelo, ainda ocorre aumento gradual da altitude, acima dos 600 m, contribuindo ainda mais para a redução da temperatura. Em agosto, o risco de geada começa a diminuir, mas ainda é alto no sul do estado (>30%).

Os riscos climáticos são calculados para os períodos críticos das culturas que, geralmente, são o estabelecimento e o florescimento. No caso do eucalipto, considera-se apenas o estabelecimento da cultura no campo, isto é, o primeiro ano de plantio. As zonas com maior risco de geada são consideradas restritas para o eucalipto, exceto para aquelas espécies adaptadas às zonas com ocorrência de geada, como *E. dunnii* e *E. benthamii*, por exemplo. Contudo, estas espécies são de menor produtividade. As espécies preferidas e as mais plantadas no Brasil e que possuem maior produtividade,

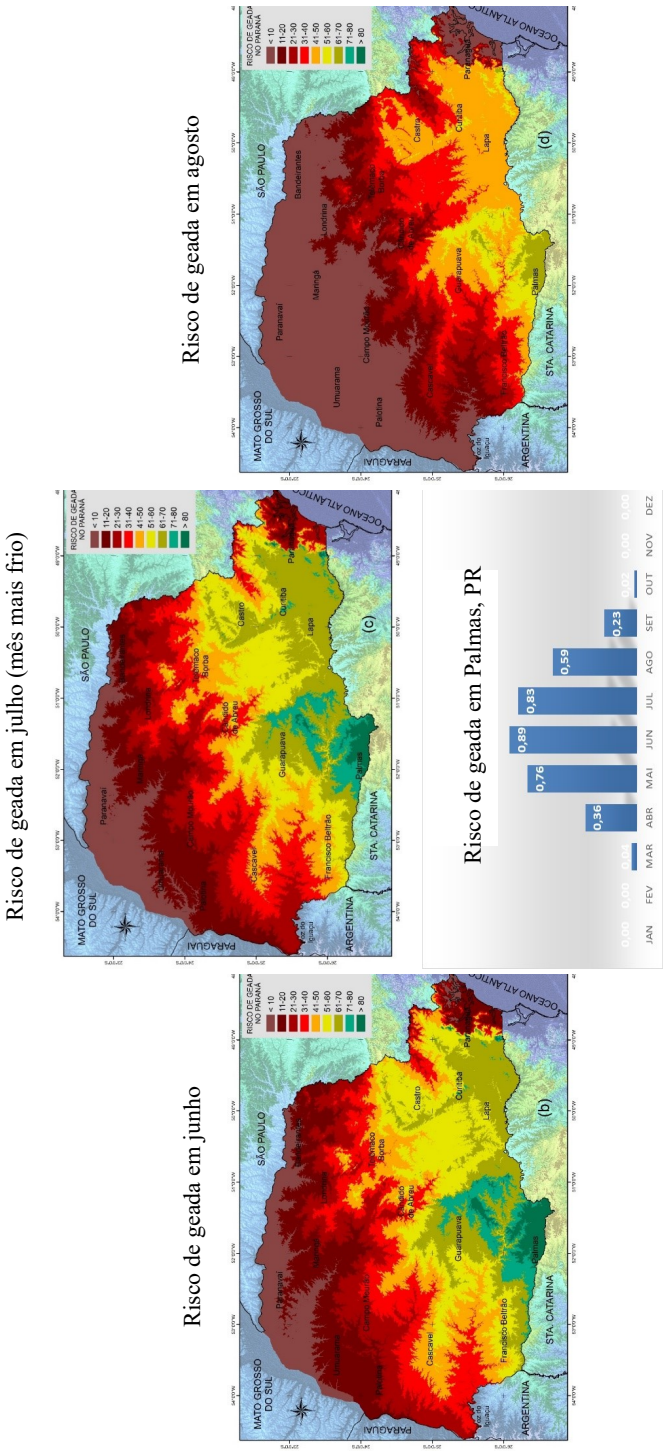


Figura 5. Risco de geada no inverno no estado do Paraná e exemplo gráfico do risco de geada em Palmas (probabilidade de ocorrência de geada *vs.* meses do ano), um dos municípios mais frios do estado (probabilidade: 0-1, sendo 0: não ocorrência de geada e 1: máxima probabilidade de ocorrência de geada).

Fonte: Wrege et al. (2018a).

E. grandis e o híbrido *E. urophylla x E. grandis* não toleram geada, em razão da adaptação ao clima quente.

Zoneamento edáfico - critérios usados para definição das classes de preferência

A elaboração do zoneamento edáfico tem como pré-requisito a existência e a disponibilidade de uma base cartográfica de solos representativa da realidade de campo, de preferência em escala semidetalhada, evitando que manchas pequenas de solos que existem no campo não apareçam no mapa. No momento, a escala de solos disponibilizada no Brasil é 1:500.000 ou 1:250.000, dependendo da região. Nesta escala, as menores manchas de solos podem não aparecer no mapa.

Em uma região plana, o nível de detalhe exigido é menor e a escala não precisa ser muito maior, mas em uma região menos uniforme, com relevo acidentado e, consequentemente, com grande variação espacial dos atributos de solo e do clima, os mapas precisam ser feitos em escala semidetalhada (1:50.000 ou maior) para melhor caracterizar a realidade existente no campo. A seguir, será exemplificado o zoneamento edáfico feito para a região do Corede Sul, extremo sul do Rio Grande do Sul, em escala semidetalhada. Esta região é de grande fragilidade ambiental, com ocorrência de geada, estiagens, relevo bastante acidentado, presença de solos rasos, arenosos e pedregosos, em alguns locais com solos hidromórficos e com poucas manchas de solos férteis, constituindo um problema para o plantio comercial de eucalipto. Assim, os zoneamentos edáfico, agroclimático e sua combinação, o zoneamento edafoclimático, devem ser e foram feitos em escala semidetalhada (Flores et al., 2009). Estes estudos podem servir de base aos trabalhos futuros de zoneamento agrícola, contribuindo para reduzir os riscos nos diversos setores da área rural, aumentar a produtividade destes setores e garantir a sustentabilidade do sistema de seguro rural no País.

No zoneamento edáfico para eucalipto, foram utilizados os levantamentos de solos dos municípios integrantes do Corede Sul, na escala de trabalho aproximada de 1:50.000, segundo a compilação realizada por Cunha et al. (2006). Foram abordados vários aspectos relacionados aos atributos de solos que ocorrem na região, sendo classificados segundo um número mínimo de características edáficas importantes para o estabelecimento e desenvolvimento do eucalipto, entre as quais profundidade efetiva, drenagem, textura, relevo, fertilidade e pedregosidade ou rochosidade (Flores et al., 2009).

Os itens referentes à textura, profundidade efetiva, relevo, drenagem e pedregosidade, apresentados a seguir, foram baseados na publicação de Flores et al., 2009).

Textura

A textura, uma das mais importantes características físicas do solo, foi considerada por se relacionar diretamente com a capacidade de retenção de água, a permeabilidade do solo, a capacidade de retenção de cátions, a arabilidade do solo e sua suscetibilidade à erosão. As classes de textura consideradas foram adaptadas com base nos grupamentos texturais constantes em Santos et al. (2018), sendo: arenosa, média, argilosa (do tipo 1:1), muito argilosa (1:1), argilosa (2:1), siltosa e orgânica. A expressão orgânica foi atribuída aos solos que apresentam constituição predominantemente orgânica.

Profundidade efetiva

A profundidade efetiva se refere à profundidade máxima na qual as raízes penetram no solo em número razoável, sem impedimento de qualquer natureza, proporcionando às plantas suporte físico e meio para absorção de água, nutrientes e aeração. Nem sempre a profundidade efetiva se limita à profundidade do solo (A + B), podendo ultrapassá-lo, principalmente quando o material de origem dos solos é mais facilmente intemperizável ou muito fraturado (basalto, arenito, dentre outros). São exemplos de impedimentos, a presença de lençol freático, substrato rochoso, camadas compactadas, pedregosidade e fragipans. Consideraram-se as classes de profundidade efetiva recomendadas por Santos et al. (2018), para levantamentos de solos com pequenas modificações (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de profundidade efetiva do solo para eucalipto.

Classes	Profundidade efetiva (cm)
Muito profundo	>200
Profundo	Entre 100 e 200
Pouco profundo	Entre 50 e 100
Raso	≤50
Muito raso	≤25

Relevo

O relevo (Tabela 2) regula os movimentos da água ao longo da vertente, tanto na superfície como no interior do solo. Ele age sobre seu regime hídrico e, consequentemente, sobre os fenômenos de percolação interna e ações correlatas - lixiviação de solutos, transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido - e ainda naqueles fenômenos em que a presença da água é imprescindível - hidrólise, hidratação e dissolução.

Quanto mais íngreme for o terreno, menor a possibilidade de infiltração da água no solo e,

Tabela 2. Classes de relevo para avaliação de aptidão edáfica do eucalipto.

Classes	Declividades (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	>75

consequentemente, menor o fluxo interno e maior a quantidade de água que escorre na superfície (enxurrada) e maior a energia cinética produzida, potencializando o processo erosivo. Solos situados em relevo íngreme, geralmente, são menos profundos e apresentam menor capacidade de retenção de água. Em uma mesma situação climática, as plantas podem se apresentar com desenvolvimento diferenciado, especialmente as espécies florestais. A informação de profundidade pode também fornecer subsídios ao emprego de implementos e máquinas agrícolas, nas diversas fases do cultivo, além de inferir a respeito da suscetibilidade à erosão. As classes de relevo utilizadas no zoneamento edáfico para eucalipto são as utilizadas por Santos et al. (2018), em levantamentos de solos.

Drenagem

O solo é constituído por partículas de vários tamanhos, desde muito pequenas, como as de argila, até de tamanho dessimétrico, como as de cascalhos e muito grandes, como as de matacões. O volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e os agregados constitui a porosidade do solo que determina sua capacidade de armazenar e transmitir líquidos e gases. Os dados de granulometria dos horizontes, juntamente com sua cor, possibilitam inferir, respectivamente, sobre a porosidade do solo e a sua permeabilidade. Os poros grandes e médios são importantes, respectivamente, na aeração e na infiltração de água e na sua condução através do solo e aqueles de tamanho pequeno são importantes no armazenamento da água.

O principal problema referente à drenagem deficiente de alguns solos é a falta de oxigênio, prejudicando a respiração das raízes. Quando é muito acentuada, devido à respiração anaeróbia, podem ocorrer acúmulos de compostos, como etanol, etileno e metano, os quais são tóxicos quando presentes em concentrações elevadas. O ferro e o manganês, uma vez reduzidos para as formas bivalentes, apresentam também toxicidade para as plantas. O conjunto de fenômenos limita o uso de solos com horizonte glei (Gleissolos), ou caracteres, tais como: gleico, plíntico ou abrúptico. Quanto mais superficiais, maior a limitação de uso.

Na interpretação dos levantamentos de solos para fins do zoneamento edáfico do eucalipto (Tabela 3), são apresentadas classes de drenagem relacionadas às classes definidas em Santos et al. (2018). As classes de drenagem se referem à quantidade e à rapidez com que a água, que é recebida pelo solo, infiltra e escoa, afetando suas condições hídricas, ou seja, a duração do período em que permanece úmido ou encharcado.

Tabela 3. Classes de drenagem empregadas na avaliação da aptidão edáfica para o eucalipto.

Classe	Descrição
Fortemente e excessivamente drenado	A água é removida do solo rapidamente. Solos muito porosos, de textura média a arenosa e bem permeáveis.
Acentuadamente drenado	A água é removida rapidamente do solo. Solos de textura média ou argilosa, porém com atividade baixa (Tb), muito porosos e bem permeáveis.
Bem drenado	A água é removida com facilidade do solo, porém não rapidamente. Os solos geralmente apresentam textura argilosa ou média.
Moderadamente drenado	A água é removida lentamente do solo, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena, porém significativa parte do tempo. Os solos geralmente apresentam camada de permeabilidade lenta na superfície ou imediatamente abaixo dela.
Imperfeitamente drenado	A água é removida lentamente do solo, de modo que este permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Os solos apresentam, geralmente, camada de permeabilidade lenta ou lençol freático alto.
Mal drenado a muito mal drenado	A água é removida do solo tão lentamente que o lençol freático permanece na superfície ou próximo dela na maior parte do ano. Os solos ocupam áreas planas ou depressões onde ocorre, frequentemente, estagnação de água. Solos com gleização e normalmente, com horizonte hístico.

Pedregosidade ou rochosidade

Refere-se à proporção de calhaus, matacões ou exposição de rochas do embasamento, quer sejam afloramentos de rochas, lajes de rochas, camadas delgadas de solos sobre rochas ou predominância de "boulders" com mais de 100 cm de diâmetro. Estão presentes na superfície ou na massa do solo e interferem diretamente na utilização de implementos e máquinas agrícolas. As classes de predregosidade ou rochosidade empregadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de pedregosidade ou rochosidade empregadas na avaliação da aptidão edáfica do eucalipto.

Classes	Pedras ou rocha (%)	Tipo de restrição
Ausente	0 a 1	Sem restrição
Pouca	1 a 3	Ligeira a moderada
Moderada	3 a 15	Forte
Abundante	>15	Muito forte

Regiões para plantio comercial do eucalipto

O zoneamento edafoclimático permite identificar ambientes onde o eucalipto pode ser plantado comercialmente, na região onde melhor se adapta, combinando os solos mais apropriados com as zonas de menor risco climático (Figuras 5 a 12). No

período de plantio, deve haver a combinação de baixo risco de geada e de disponibilidade hídrica satisfatória, em um solo adequado para o desenvolvimento comercial da espécie que, necessariamente, não precisa ser o mais fértil, mas que agregue o máximo possível dos atributos favoráveis, citados anteriormente (profundidade, drenagem, fertilidade, dentre outros).

Na conclusão das análises de risco e na definição das melhores épocas e regiões para plantio, as ações de validação são necessárias para analisar se os critérios usados na elaboração do zoneamento produziram resultados satisfatórios. Quando isso não ocorre, é necessário refazer o trabalho redefinindo os critérios utilizados, visando atingir um resultado coerente. A validação deve ser feita junto à sociedade, cooperativas, empresas e especialistas que conheçam muito bem o desenvolvimento da espécie.

A Figura 5 é um exemplo de zoneamento de risco climático de eucalipto feito para a região Sul do País. Observa-se que os riscos são menores nas zonas em que a temperatura do ar é maior e, portanto, o risco de geada é menor. No Litoral (zona hachurada na porção leste do mapa), em função do grande volume de chuva, o risco de ocorrência de doenças, como o cancro e a ferrugem, é maior, não sendo indicado o plantio de nenhuma espécie de eucalipto. Na metade sul do Rio Grande do Sul (zona hachurada no sul do estado), o risco de estiagem no verão é alto, o que não é fator impeditivo para o plantio de eucalipto, mas pode estar relacionado à menor produtividade não só do eucalipto, mas de outras espécies também. A zona amarela é a de menor risco, sendo indicada para plantio de *E. grandis* e *E. urophylla x E, grandis* (Figuras 6 e 7 e Figuras 10 a 12).

No trabalho de Flores et al. (2009), as características descritas para as unidades de mapeamento, como fertilidade, textura, relevo, drenagem, profundidade efetiva e pedregosidade ou rochosidade, foram inicialmente organizadas e tabuladas em uma matriz, onde foram confrontadas com as necessidades das espécies de eucalipto. Devido à ausência de resultados de pesquisas em nível de espécies, para o eucalipto, não foi possível individualizar a aptidão edáfica, sendo gerado um único mapa na região do Corede Sul. Para cada uma das características avaliadas, foram estabelecidas diferentes classes de aptidão, organizadas em um quadro guia (Tabela 5).

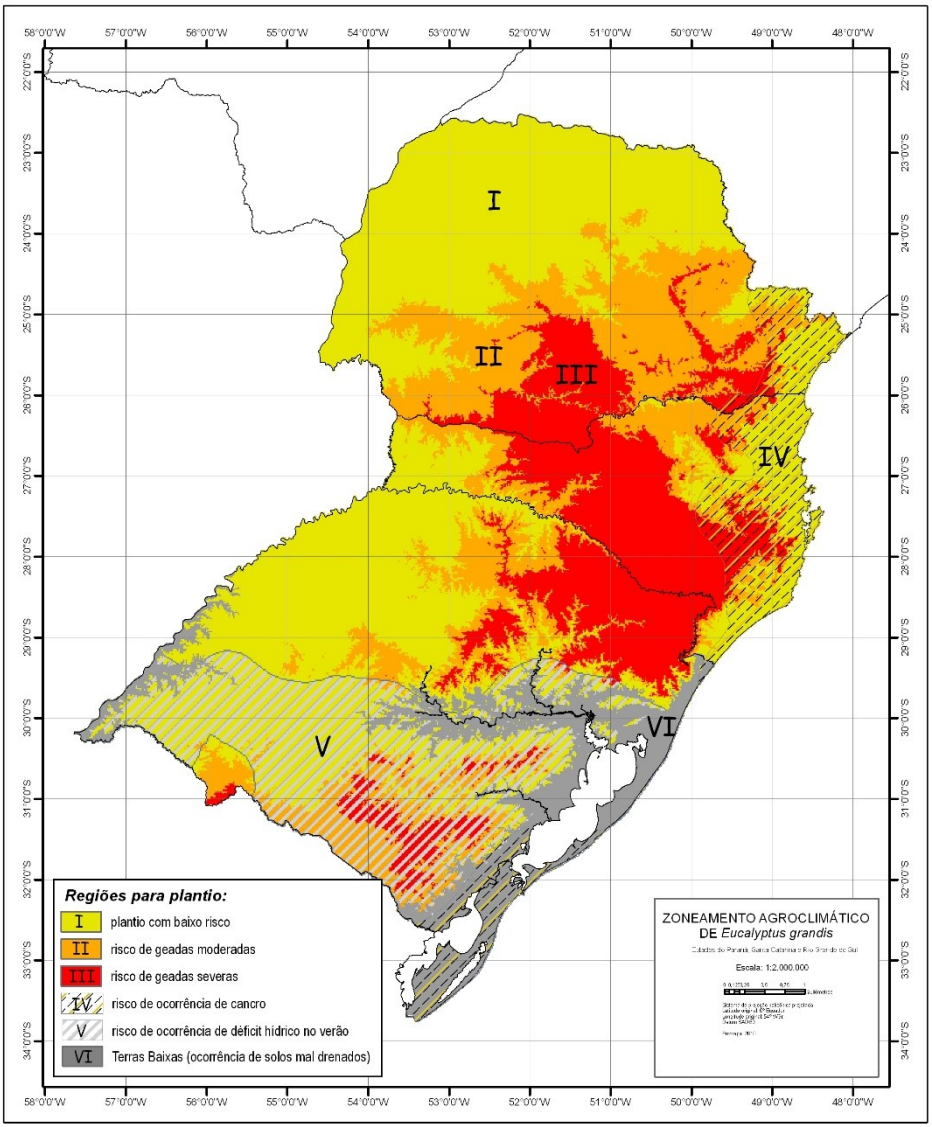


Figura 5. Riscos climáticos para o plantio comercial de *Eucalyptus grandis* nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Zona amarela: baixo risco climático.

Fonte: Higa e Wrege (2010).

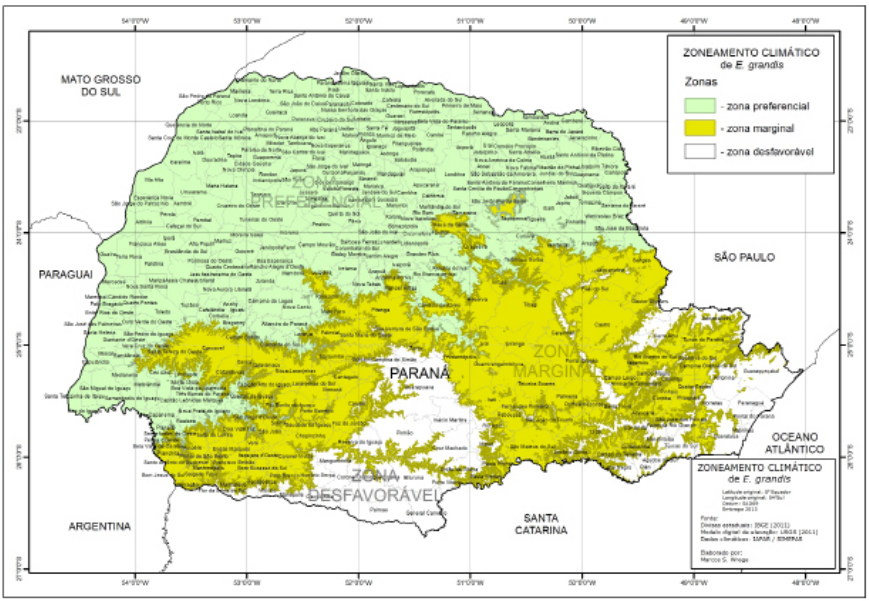


Figura 6. Zoneamento agrícola para *Eucalyptus grandis* no estado do Paraná, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Wrege et al. (2017a).

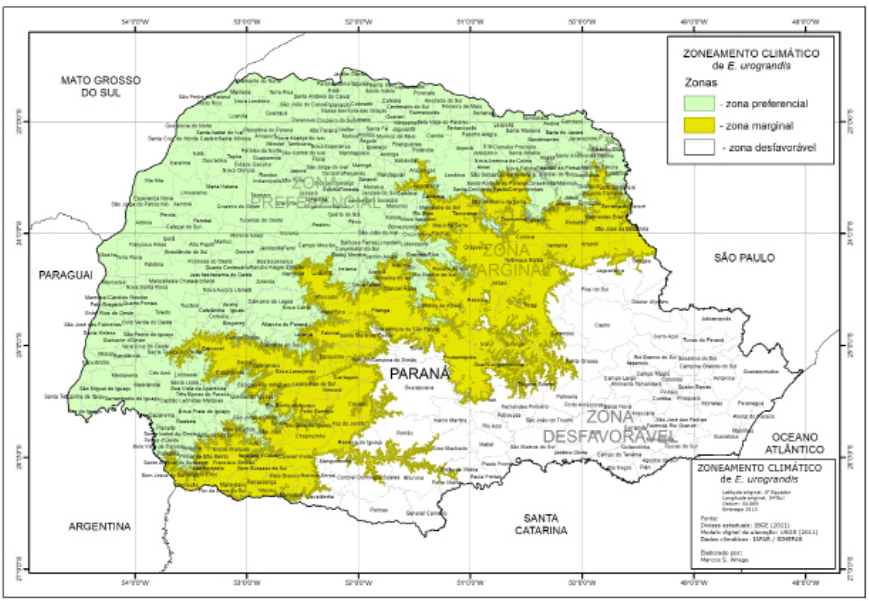


Figura 7. Zoneamento agrícola para *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* no estado do Paraná, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Wrege et al. (2017a).

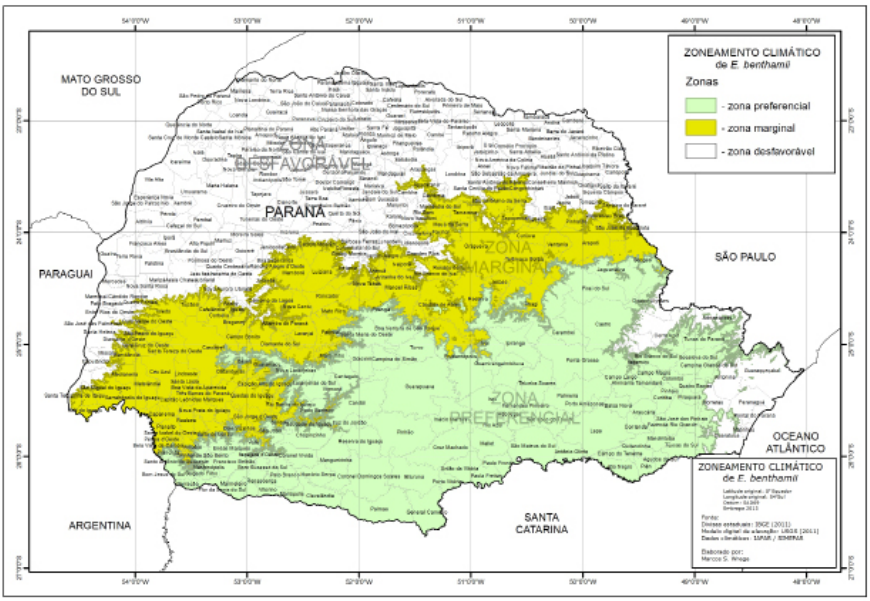


Figura 8. Zoneamento agrícola para *Eucalyptus benthamii* no estado do Paraná, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Wrege et al. (2017a).

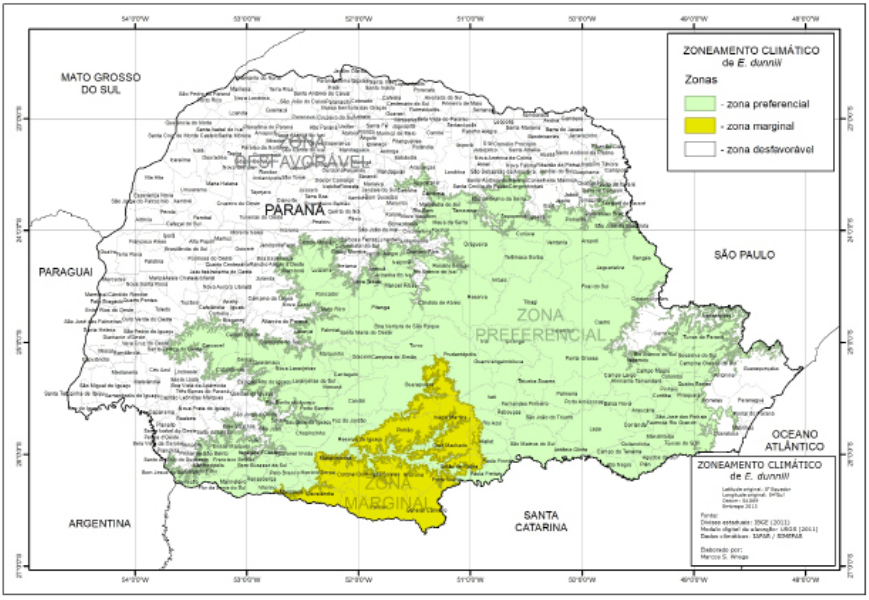


Figura 9. Zoneamento agrícola para *Eucalyptus dunnii* no estado do Paraná, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Wrege et al. (2017a).

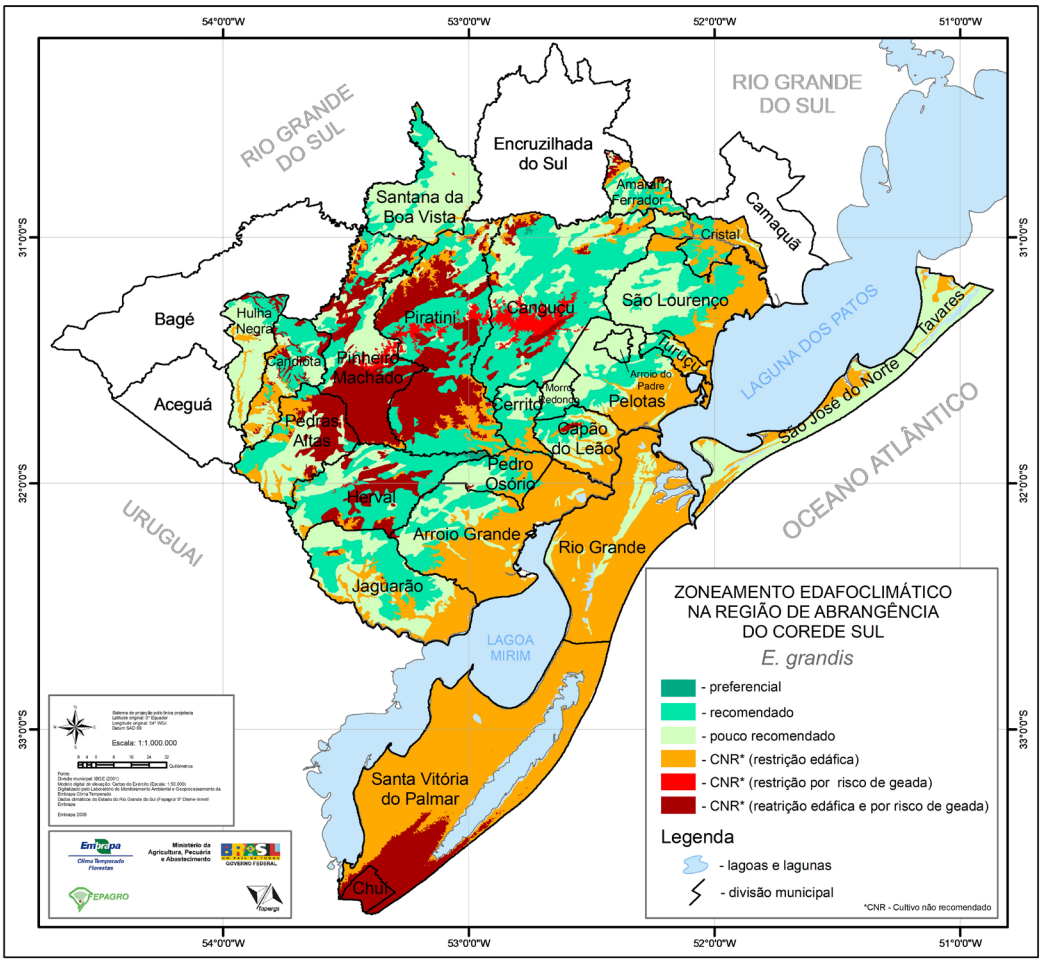


Figura 10. Zoneamento edafoclimático para *Eucalyptus grandis* na região do Corede Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Flores et al. (2009).

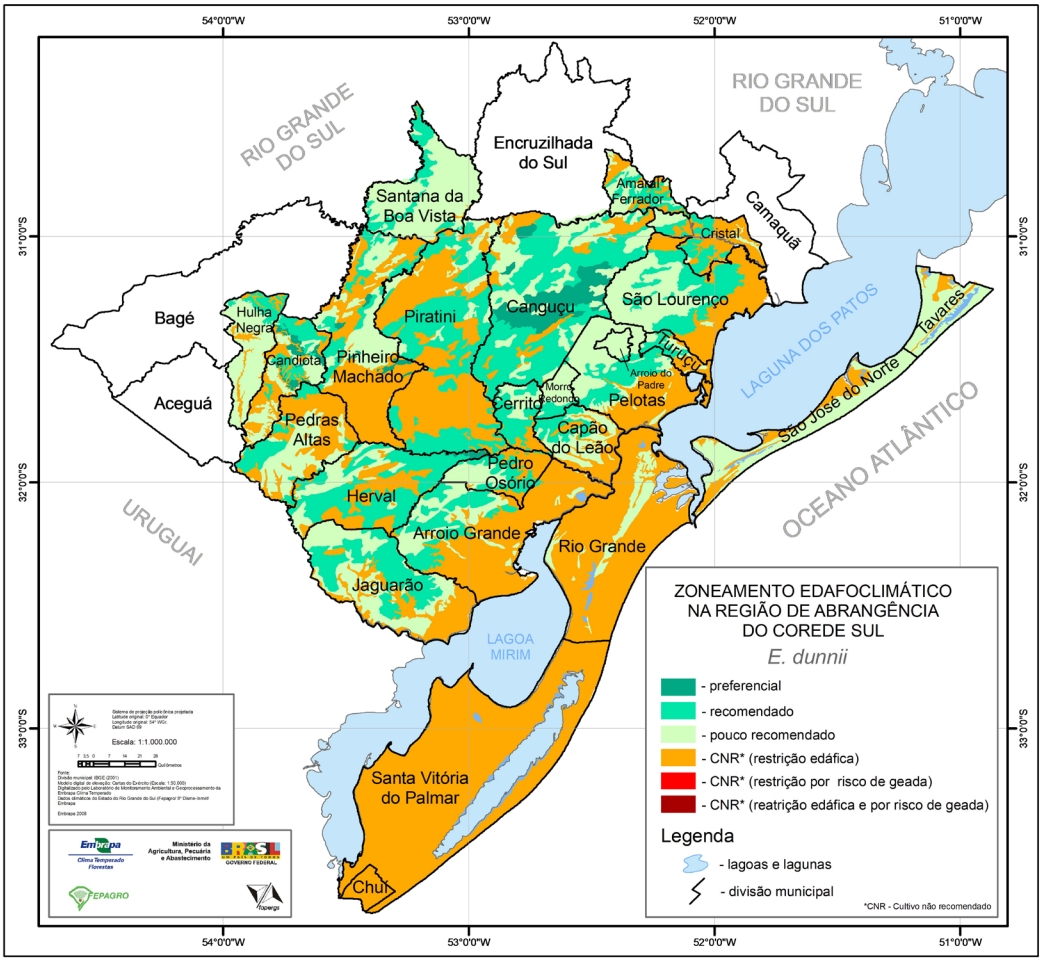


Figura 11. Zoneamento edafoclimático para *Eucalyptus dunnii* na região do Corede Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Flores et al. (2009).

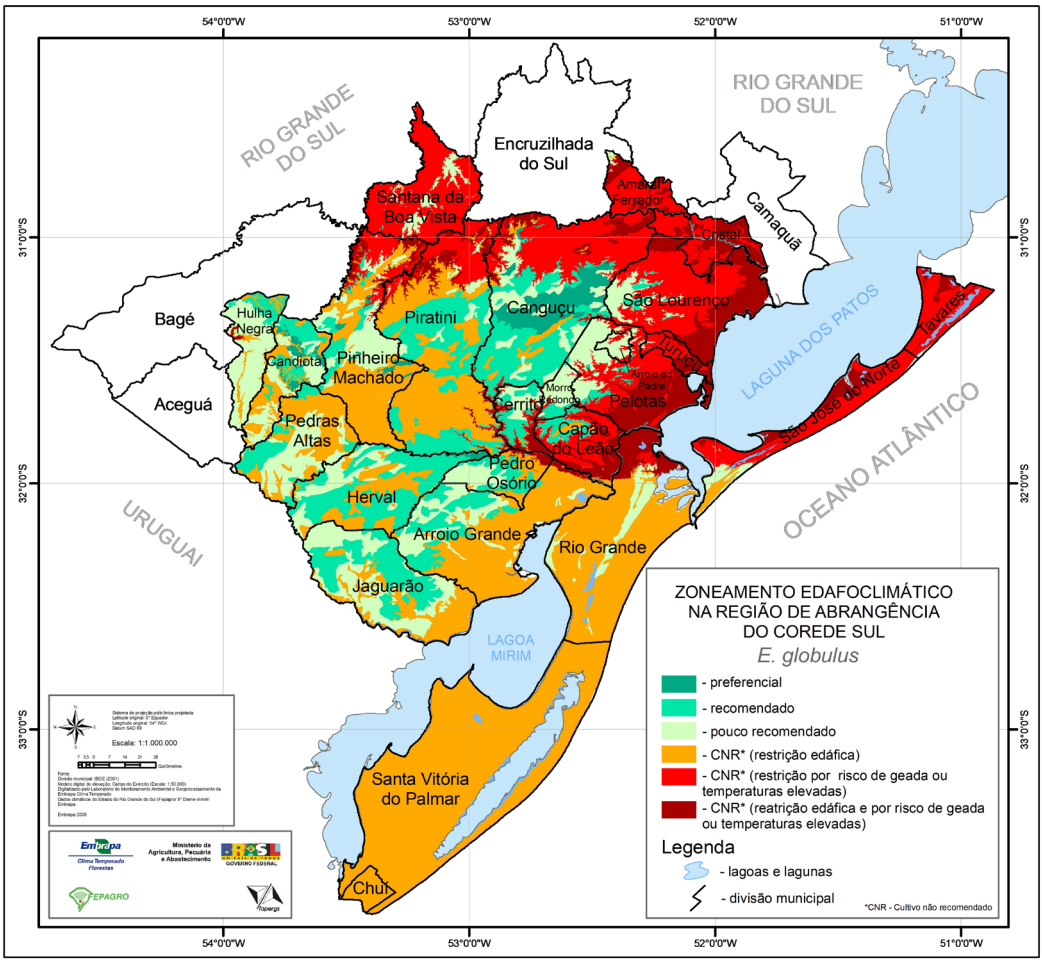


Figura 12. Zoneamento edafoclimático para *Eucalyptus globulus* na região do Corede Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Flores et al. (2009).

Tabela 5. Parâmetros utilizados para avaliação das classes de aptidão edáfica para o eucalipto.

Parâmetro	Classe de aptidão			
	Preferencial	Recomendável	Pouco recomendável	Cultivo não recomendável
Drenagem	Fortemente, acentuadamente ou bem drenado	Moderadamente drenado	Imperfeitamente ou excessivamente drenado	Mal ou muito mal drenado
Profundidade efetiva	Muito profundo ou profundo	Pouco profundo	Raso	Muito raso
Grupamento textural	Média ou argilosa (1:1)	Muito argilosa (1:1)	Argilosa (2:1), arenosa ou siltosa	Orgânica
Relevo	Plano ou suave ondulado	Ondulado	Forte ondulado	Montanhoso ou escarpado
Fertilidade	Alta ou média	Baixa	Muito baixa	Presença de sais
Pedregosidade ou rochosidade	Ausente ou pouca	Moderada	Acentuada	Abundante

Quando os solos apresentavam condições favoráveis à implantação e ao desenvolvimento das espécies, para todas as classes, foram classificados como pertencentes à classe de solos Preferencial. Quando ocorreram restrições em uma ou mais características que limitavam as possibilidades de utilização do solo, foram enquadrados em classes distintas de aptidão Recomendável, Pouco recomendável e Cultivo não recomendável. Para o enquadramento dos solos em uma determinada classe de aptidão, utilizou-se o fator de solo mais restritivo. As classes de aptidão edáfica consideradas neste trabalho foram as seguintes:

- Preferencial (P): classe que compreende terras sem limitações significativas. Há um mínimo de restrições que não reduzem a produtividade de forma expressiva e que não aumentam a exigência de insumos acima de um nível considerado aceitável.
- Recomendável (R): classe em que estão compreendidas as terras que apresentam limitações moderadas, porém, com redução de produtividade, aumentando a necessidade de insumos. Ainda que atrativas, estas terras são sensivelmente inferiores àquelas obtidas pelas da classe Preferencial.
- Pouco recomendável (PR): classe que compreende terras que apresentam limitações fortes, com consequente limitação de produtividade, aumentando a necessidade de insumos. O desenvolvimento e a produtividade das espécies de *Eucalyptus* tendem a ser baixas.
- Cultivo não recomendável (CNR): as terras se apresentam com limitações muito fortes para o uso com *Eucalyptus*, independentemente do manejo empregado.

Com os resultados obtidos na avaliação, foi gerado o mapa de aptidão edáfica para o eucalipto, mediante reclassificação do mapa de solos da região do Conselho

Regional de Desenvolvimento (Corede Sul). Neste processo, utilizou-se o sistema de informação geográfica ArcInfo (ArcGis, 2019). As áreas correspondentes às classes Preferencial e Recomendada somaram aproximadamente 926 mil hectares, ou seja, aproximadamente 25% do território avaliado, sendo que 72% da área sofre fortes restrições edáficas.

Com estas ações, pode-se reduzir a frustração de safras no Brasil e pode-se afirmar que o zoneamento agrícola cumpriu seu objetivo, ao combinar maior conhecimento das regiões com maior conhecimento da fenologia das espécies cultivadas, utilizando uma metodologia coerente e embasada cientificamente, que contribui para reduzir a sinistralidade, as coberturas duvidosas e para tornar o programa superavitário, garantindo sua sustentabilidade.

As regiões favoráveis para o plantio comercial de eucalipto com as mudanças climáticas

O eucalipto poderá, nas próximas décadas, ocupar uma maior área plantada no País, expandindo-se para novas regiões. As mudanças climáticas globais têm causado alteração do regime pluvial e aumento da temperatura do ar na maior parte das regiões, favorecendo a expansão da eucaliptocultura, inclusive para o Sul do País. A tendência é de que o eucalipto, até o final do século, tenha condições de se desenvolver mesmo em regiões de altitude acima dos 800 metros na região Sul do País, onde hoje é dada maior preferência ao plantio de espécies do gênero *Pinus*. Wrege et al. (2017a), utilizando um simulador estocástico de cenários climáticos futuros - o PGEClima_R (Virgens Filho et al., 2011) - para gerar camadas de clima nos cenários futuros, simularam cenários para eucalipto (*E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. benthamii*) no estado do Paraná, fazendo projeções até 2070, em um pior cenário (A2) e em um cenário menos pessimista (B1) (Figuras 13 a 15). No pior cenário, a pressuposição é de que nenhuma medida será tomada e aumentarão as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera, principalmente como resultado das ações antrópicas, tendo como resultados o aumento de temperatura e a redução do risco de geada, favorecendo o cultivo comercial do eucalipto, de um modo geral.

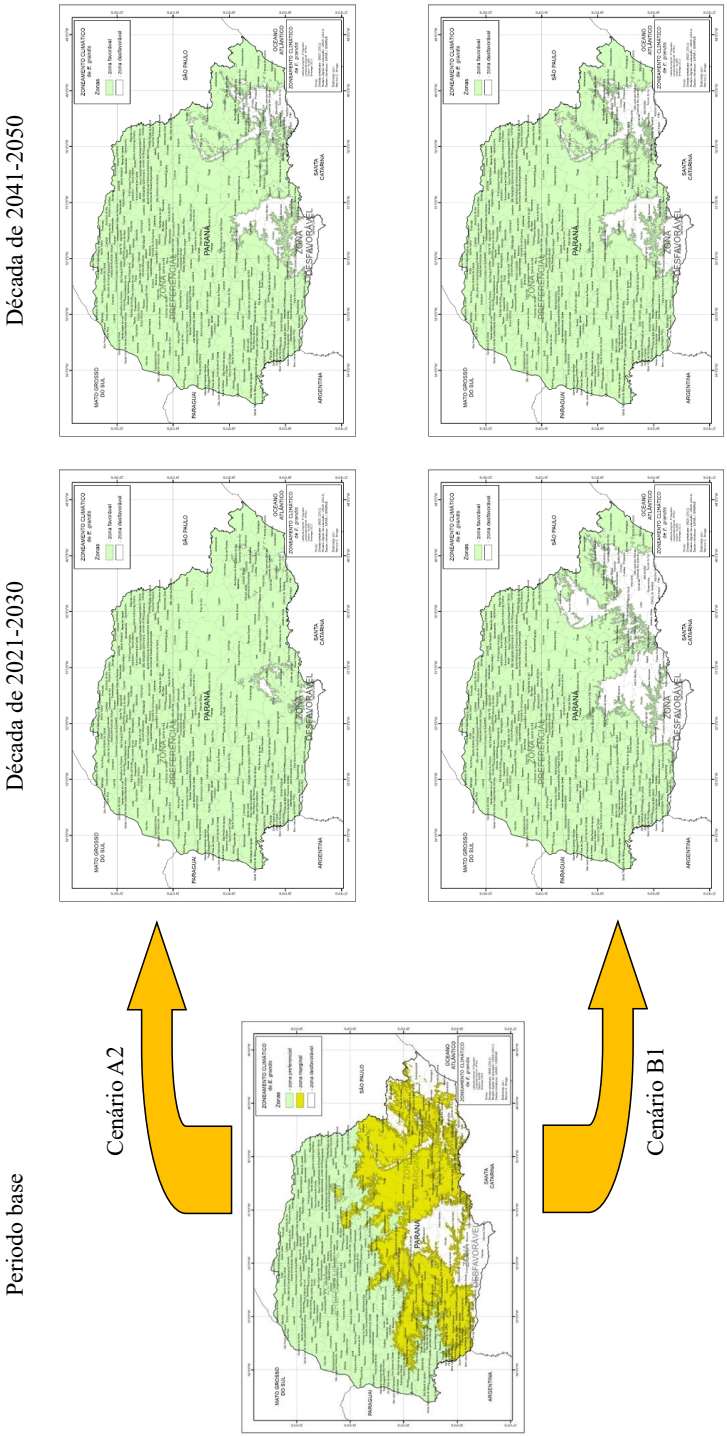


Figura 13. Os novos cenários para plantio comercial de *Eucalyptus grandis*, no estado do Paraná.

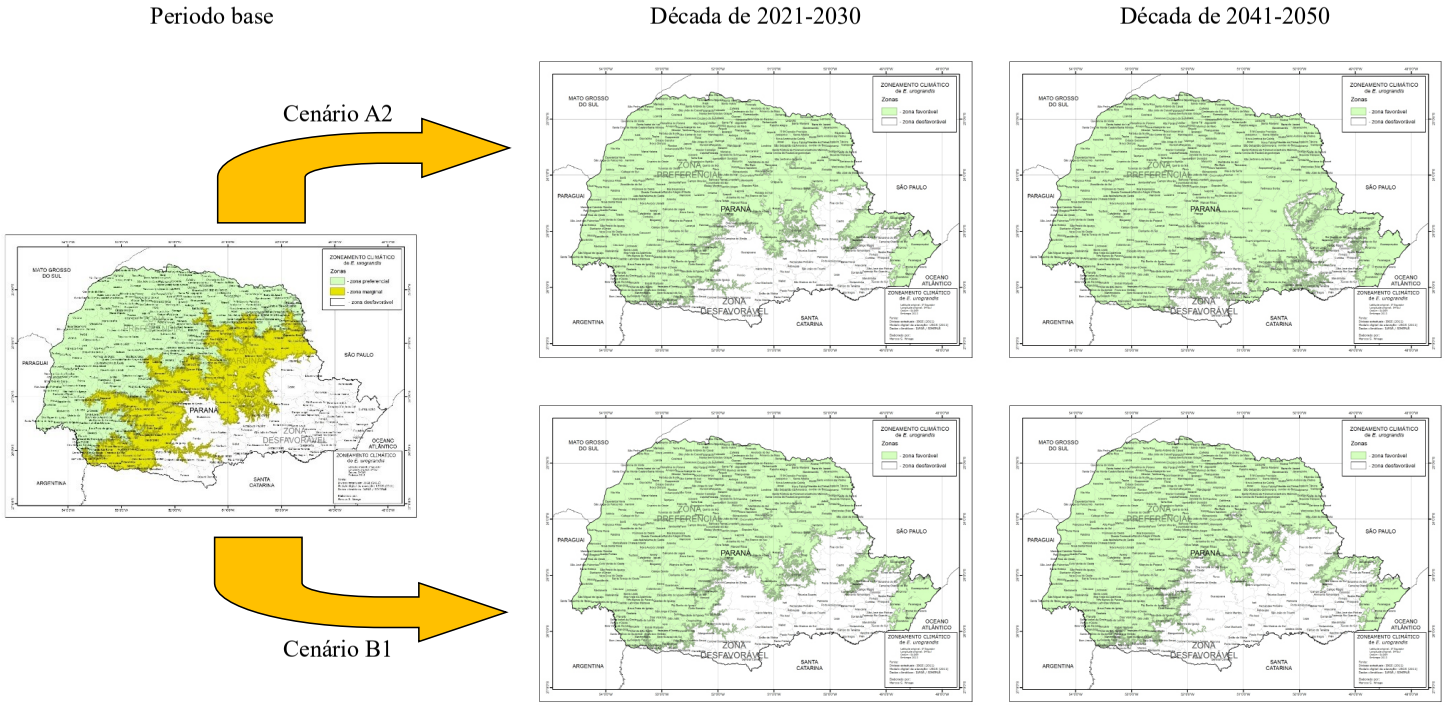


Figura 14. Os novos cenários para plantio comercial de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis,* no estado do Paraná.

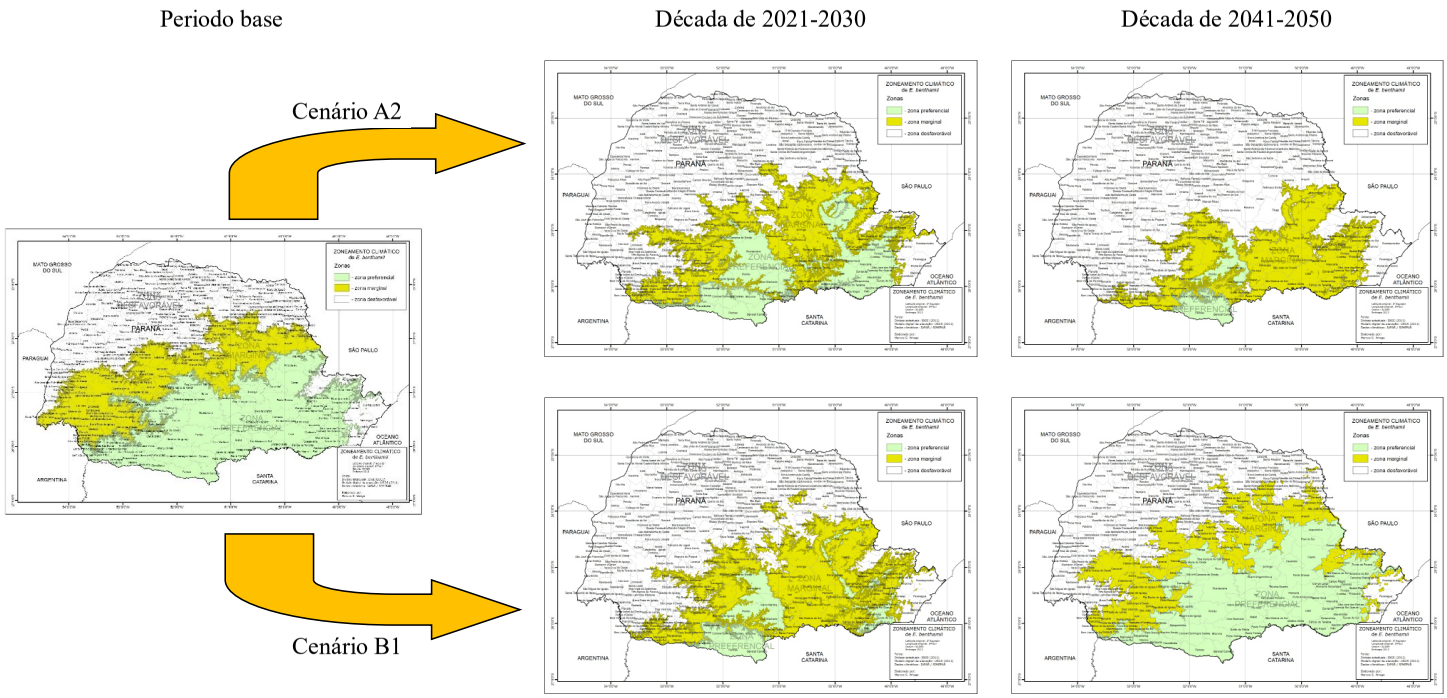


Figura 15. Os novos cenários para plantio comercial de *Eucalyptus benthamii,* no estado do Paraná.

Perspectivas futuras e demandas de pesquisa

O aperfeiçoamento do zoneamento pode ser realizado pela agregação de atributos pedológicos nas análises de risco, como a profundidade, a drenagem, a pedregosidade, a textura, a fertilidade, a capacidade de armazenamento de água (CAD), a quantidade de matéria orgânica, dentre outros atributos. Desse modo, pode ser reduzido os riscos na silvicultura e, consequentemente, as taxas de sinistralidade e, assim, garantir a sustentabilidade dos programas de governo, entre os quais o Proagro e o Pronaf.

Além da inclusão dos solos, a melhoria da resolução espacial das camadas e dos mapas representa outra condição essencial, principalmente, para os solos. Assim, a mudança da escala de trabalho atual, que é de nível estadual (1:250.000 ou 1:500.000), para o nível municipal, em escala semidetalhada (Escala 1:50.000 ou 1:10.000), permitirá que o zoneamento seja feito para cada município, ao invés de estado. Um exemplo disso é o zoneamento edafoclimático para o eucalipto na região do Corede Sul do Rio Grande do Sul, apresentado neste capítulo de livro.

O trabalho realizado, em nível municipal, permitirá detalhar o zoneamento em nível de cultivar, variedade ou clone, promovendo maior aproximação entre equipe executora e setor produtivo local. Assim, poderão ser feitas recomendações para as cultivares, variedades ou clones melhor adaptados para cada local e diminuir os riscos causados pelas adversidades climáticas. O sucesso do estabelecimento de uma cultura, entre outros fatores, está associado à escolha das cultivares, variedades ou clones comerciais mais bem adaptados às condições edafoclimáticas de cada região.

A coleta de dados fenológicos históricos e a elaboração de um banco de dados com informações sobre o desempenho das culturas, em nível municipal, também é de suma importância. Essas informações podem contribuir para aperfeiçoar os cálculos dos riscos agrícolas.

Com as mudanças climáticas globais, será importante intensificar o monitoramento dos plantios comerciais de eucalipto, principalmente, quanto à ocorrência de novas pragas e doenças, que podem se favorecer do aumento de temperatura e de pluviosidade. A demanda de pesquisa com novos insetos e doenças de importância econômica ao eucalipto, portanto, é iminente. As análises de risco de ocorrência de insetos e doenças deverá, em breve, ser associada ao zoneamento agrícola.

Com as tecnologias atualmente existentes, pode-se fazer a previsão de ocorrência de pragas e doenças com a simulação de cenários climáticos futuros. Além disso, pode-se vislumbrar medidas que possam ser tomadas para evitar a entrada de novas pragas e doenças no País, nos próximos anos.

Agradecimentos

À Itaipu e à Embrapa, pelo apoio financeiro. Este capítulo de livro é parte do resultado do Projeto Validação das Tecnologias Integradas para a Produção de Biomassa Florestal Energética e Aumento da Competitividade das Cadeias Produtivas de Espécies Florestais Introduzidas na Bacia do Paraná 3 (Bioeste).

Ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (Fapergs), pela concessão de auxílio financeiro ao Projeto Zoneamento Agroecológico como Subsídio ao Desenvolvimento da Silvicultura na Região do Corede Sul, Fronteira Oeste, Central e Jacuí Centro, RS.

À Finep, pelo financiamento do Projeto Simulação dos Impactos das Mudanças Climáticas Globais sobre os Setores de Agropecuária, Floresta e Energia (Simcafe).

Referências

BRASIL. Lei nº 5.696, de 12 de dezembro de 1973. Institui o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 12 dez. 1973. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1970-1979/L5969.htm>. Acesso em: 13 ago. 2019.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T. de; ANDROCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J. C. D.; KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* l.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 486-494, 2001a.

CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGE, M. S.; CAVIGLIONE, J. H.; OLIVEIRA, D. de; FARIA, R. T. de; LOLLATO, M. A.; MARIOT, E. J.; KRANZ, W. M.; PARRA, M. S.; BIANCHINI, A. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para feijão no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 477-485, 2001b.

CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGE, M. S.; OLIVEIRA, D. de; LOLLATO, M. A.; MARIOT, E. J.; KRANZ, W. M.; BIANCHINI, A. **Zoneamento da cultura do feijão no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1998. (IAPAR. Circular técnica, 99).

CUNHA, G. R.; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2006. Número especial: Zoneamento Agrícola.

CUNHA, G. R. da; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; CARAMORI, P. H.; ASSAD, E. D.; BRAGA, H. J.; ZULLO JÚNIOR, J.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S.; WREGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; THOMÉ, V. M. R.; ZAMPIERI, S. L.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 400-414, 2001.

ESRI. **ArcGIS**: software. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Acesso em: 10 fev. 2019.

FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGE, M. S.; FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C. Zoning based on climate and soil for planting Eucalyptus in southern region of Rio Grande do Sul State, Brazil. In: PRADO, H. A. do; LUIZ, A. J. B.; CHAIB FILHO, H. **Computational methods for agricultural research**: advances and applications. Hershey: InformatIon Science Reference, 2011. p. 127-143

FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGE, M. S. (ed.). **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na Região do Corede Sul - RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 87 p.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação)**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série técnica, 11).

GONÇALVES, S. L.; WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; SHIOGA, P.; GERAGE, A. C. Épocas de semeadura do milho safrinha no Paraná com menores riscos climáticos. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1287-1290, 2002.

GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Risco de ocorrência de geada no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; GARRASTAZU, M. C. Espécies de eucalipto potenciais para reflorestamento no Estado do Paraná. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 27-40.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S. **Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Documentos, 209). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/883452>.

PINTO, H. S.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do estado de São Paulo em função da altitude e latitude**. São Paulo: Instituto de Geografia, FFCL, USP, 1972. 20 p. (Caderno ciências da terra, 23).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 16 maio 2020.

VIRGENS FILHO, J. S.; FÉLIX, R. P.; LEITE, M. L.; TSUKAHARA, R. Y. PGECLIMA_R: gerador estocástico para simulação de cenários climáticos brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros**: anais. Guarapari: Incaper, 2011. p. 1-5.

WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; FRITZSONS, E.; PARTALA, A.; CHRISTENSEN, G. L. Agroclimatic zoning for eucalyptus in the state of Paraná and the new scenarios defined by global climate change. **Geama**, v. 3, p. 216-228, 2017a.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; PANTANO, A. P.; STEINMETZ, S.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região Centro-Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 524-553, 2018a.

WREGE, M. S.; GARRASTAZU, M. C.; FLORES, C. A.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C. Zoneamento edafoclimático da acácia-negra para o extremo sul do Brasil. **Agrometeoros**, v. 25, p. 83-93, 2017b.

WREGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; CARAMORI, P. H.; VASCONCELLOS, M. E. C.; OLIVEIRA, D. de; ABUCARUB NETO, M.; CAVIGLIONE, J. H. Risco de deficiência hídrica na cultura do feijoeiro durante a safra das águas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n.1, p. 51-59, 1997.

WREGE, M. S.; REISSER JÚNIOR, C.; STEINMETZ, S.; RADIN, B.; FRITZSONS, E. Risco de déficit hídrico para espécies florestais e frutíferas no Rio Grande do Sul. **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 55-68, 2018b.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, CARLOS; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 332 p.

8

Mudanças do clima e a cultura do eucalipto

Eduardo Delgado Assad
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro
Vanessa Silva Pugliero

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Bases físicas do aquecimento global

Para um conhecimento mais detalhado dos efeitos e consequências das mudanças do clima, é preciso saber a diferença clássica entre tempo e clima. Isso porque um dos questionamentos muito utilizados pelos céticos do aquecimento global e consequentes mudanças do clima é, "se está frio - normalmente no inverno - onde está o aquecimento global? Como a temperatura está subindo se tempestades de neve ainda ocorrem em várias partes do mundo?" Daí a importância da definição de:

- Tempo: É o estado da atmosfera num determinado momento e num determinado lugar. O tempo, portanto, muda todos os dias. É o objeto de estudo dos meteorologistas.
- Clima: É uma síntese do tempo descrito em termos médios em um determinado lugar durante um período de 30 anos. Estudo paleoclimáticos (Cronin, 2010), demonstram que mudanças no clima já ocorreram no passado, mas muito lentamente, ao longo de séculos e milênios. O clima, portanto, em condições normais, não se altera em uma escala temporal de anos ou décadas. É o objeto de estudo dos climatologistas.

O que estamos verificando hoje é que, mesmo considerando as variações interanuais, ou mesmo decadais que podem ocorrer nas condições do tempo em um dado local, nos últimos 100 anos, observa-se um aumento consistente e continuado da temperatura no planeta, identificado e relatado em dezenas de estudos científicos e utilizados em todos os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), além de um forte aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera, notadamente o CO_2, que vem promovendo diretamente o aumento da temperatura (Figura 1).

A mudança é resultado da alteração na estabilidade das séries, o que provoca impactos num ambiente anteriormente estável. Dependendo do período de observação, pode-se confundir mudança com variabilidade. Na Figura 2, os exemplos de mudança e variabilidade são ilustrados, considerando a escala temporal.

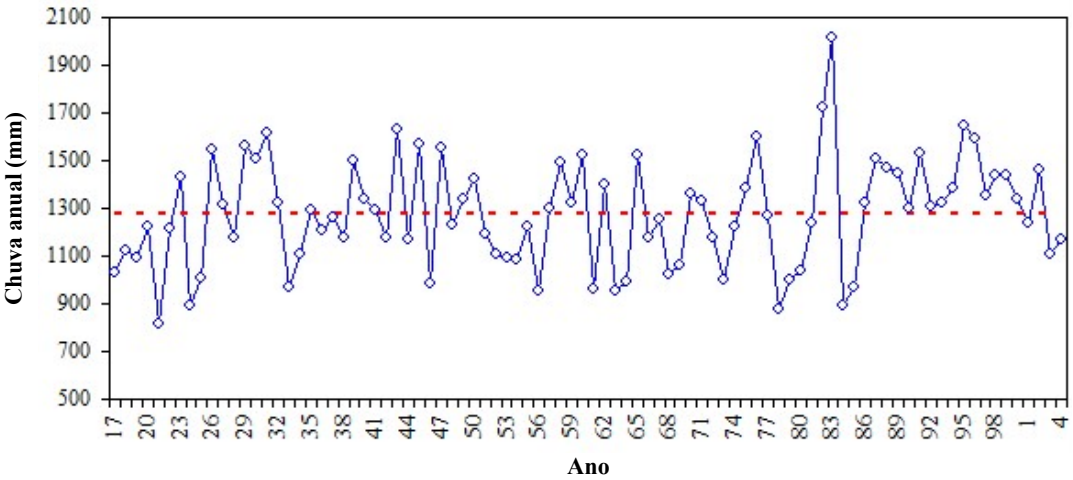


Figura 1. Relação entre mudança e variabilidade climática. Variabilidade climática refere-se às flutuações em torno da média, ao longo de um período.

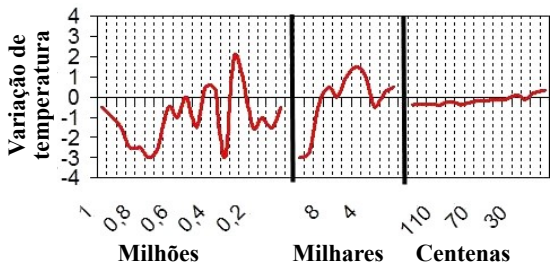


Figura 2. Variação da temperatura global da Terra no último milhão de anos em relação à condição atual.

Ou seja, no último milhão de anos observa-se uma variabilidade da temperatura em torno da média. Nos últimos milhares de anos observa-se alteração climática mais acentuada e, nos últimos cem anos, um aumento de temperatura com tendência de alta, caracterizando uma mudança. É importante ressaltar que, há milhões de anos, já ocorreram aumentos de temperaturas iguais ou superiores a 2 °C, quando o *Homo sapiens* ainda não existia. A espécie surgiu há cerca de 350 mil anos na região Leste da África e adquiriu o comportamento moderno de assentamentos fixos baseados em práticas agrícolas primitivas há cerca de 12 mil anos. Neste período, o homem jamais vivenciou variação climática na intensidade que vem ocorrendo nas últimas décadas.

Na Tabela 1 é apresentado um breve histórico da evolução dos estudos e preocupações do homem com relação às mudanças do clima.

Tabela 1. Breve histórico da evolução dos estudos e preocupações com relação às mudanças do clima.

Ano	Acontecimento
1824	O francês Jean Baptiste Fourier descreve o "efeito estufa" natural do planeta Terra e estima que o planeta seria muito mais frio se não existisse a atmosfera
1859	O irlandês John Tyndall descobre que alguns gases, como CO_2 e o metano, aprisionam a radiação infravermelha, criando o Efeito Estufa
1896	Svante Arrhenius calcula que a temperatura da Terra aumentaria 5 °C com o dobro de CO_2 na atmosfera
1958	Charles Keeling monta uma estação de medições de CO_2 no alto do monte Mauna Loa, no Havaí, e descobre que as concentrações de gases na atmosfera estão crescendo
1968	Estudos sugerem a possibilidade de um colapso das geleiras polares e de um aumento catastrófico no nível do mar
1988	O climatologista James Hansen da Nasa depõe no Senado dos EUA e diz ter certeza que o aquecimento global será catastrófico
1988	Criado o IPCC
1992	Acordada no Rio de Janeiro a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança climática, com o objetivo de evitar a "interferência perigosa" dos humanos no clima
1997	Protocolo de Kyoto aprovado na COP 3
2001	Relatório do IPCC prevê aumento de 1,4 °C a 5,8 °C na temperatura da Terra até 2100
2005	O protocolo de Kyoto entra em vigor, sem a presença da Austrália e EUA. Furacão Katrina arrasa Nova Orleans
2007	O IPCC mostra que o aquecimento global é "inequívoco" e prevê aumento de 3 °C caso a concentração de CO_2 dobre de valor
2009	Governos de 192 países do mundo se reúnem na cúpula do clima da ONU em Copenhague, com grandes expectativas de um novo acordo global, mas o resultado é pífio
2010	A cúpula da ONU no México não desmorona, como se temia, mas termina com acordos em questões pouco relevantes
2011	Dados mostram que as concentrações de gases de efeito estufa estão aumentando em um ritmo mais rápido do que nos anos anteriores
2012	O gelo no Ártico atinge uma extensão de 3.410.000 km², a menor área desde que as medições por satélite começaram, em 1979
2013	Dados do Observatório de Mauna Loa, no Havaí, informam que a concentração média diária de CO_2 na atmosfera já ultrapassou 400 partes por milhão (ppm), pela primeira vez, desde que as medições começaram em 1958
2015	COP 21 - Acordo de Paris. 195 países concordaram em combater as mudanças climáticas e buscar um futuro com baixo carbono, resiliente e sustentável
2018	IPCC confirma importância da meta 1,5 °C. Um relatório especial sobre Aquecimento Global confirma a necessidade de manter o maior compromisso com os objetivos do Acordo de Paris

Fonte: Nações Unidas Brasil (2017); United Nations (2019).

A partir dessas descobertas e constatações, a ciência foi em busca de evidências com relação ao fenômeno global, (Cook, 2010):

Evidência 1: aumento da concentração de CO_2 na atmosfera.

Desde o início da revolução industrial é que se tem verificado o aumento da concentração de CO_2 na Atmosfera. Em 1958, na ilha de Mauna Loa, iniciou-se a medição diária desta concentração e, hoje, são quatro pontos de medição no globo terrestre que indicam o aumento desta concentração. Na Figura 3, é indicada como é a tendência do aumento de concentração de CO_2.

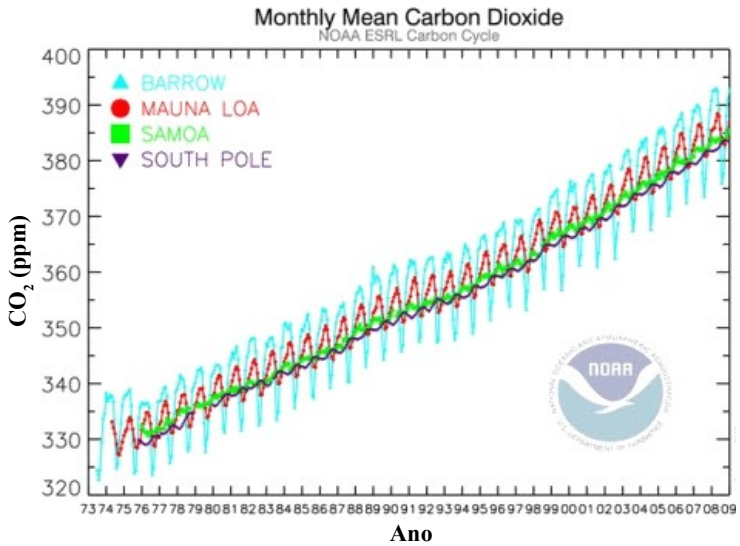


Figura 3. Aumento da concentração de CO_2 em quatro pontos daTerra entre 1973 e 2009. Situação em Julho de 2019, 411ppm.

Fonte: CO1 (2020).

Evidência 2: a marca dos combustíveis fósseis no ar e nos corais

Há diferentes tipos de carbono no ar, conhecidos como isótopos de carbono. O tipo mais comum é o carbono-12, mais leve e preferido pelas plantas. Combustíveis fósseis como carvão ou petróleo vêm de plantas que viveram há milhões de anos. Então, quando são queimados, são emitidos mais deste carbono-12 leve, o que deve causar a queda da relação entre o carbono-13. Isso é o que se observa em medições na atmosfera, corais e esponjas marinhas. Esta é uma evidência forte de que o aumento do dióxido de carbono no ar está diretamente ligado às emissões humanas (Figura 4).

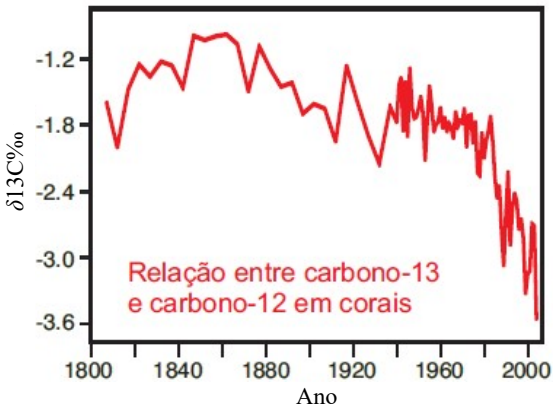


Figura 4. Medições (relação entre o carbono-13 e o carbono-12) feitas na Grande Barreira de Corais. Fonte: Cook (2010).

Evidência 3: menor perda de calor do planeta e atmosfera para o espaço

Satélites medem a radiação infravermelha que sai para o espaço, observando assim com clareza o efeito estufa aumentando nas últimas décadas. Uma comparação entre os dados dos satélites de 1970 e 1996 mostrou que há menos energia escapando para o espaço nos comprimentos de onda em que os gases estufa absorvem energia (Figura 5).

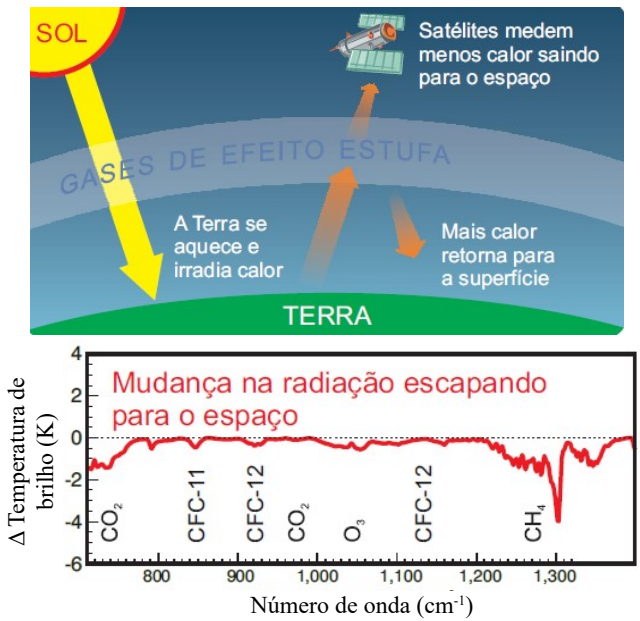


Figura 5. Menos radiação escapando para o espaço. Fonte: Cook (2010).

As bases físicas do aquecimento global resultante do aumento das concentrações de dióxido de carbono antrópico na camada atmosférica estão amplamente discutidas e demonstradas na literatura científica (Ciais et al., 2013). Apesar dos céticos do aquecimento global, atualmente, estudantes de nível médio reproduzem ensaios experimentais simples demonstrando a relação direta entre efeito estufa e o aumento da concentração de CO_2.

Evidência 5: o padrão de aquecimento dos oceanos

Os oceanos em todo o mundo têm acumulado calor pelos últimos 40 anos. O padrão que se observa no aquecimento dos oceanos pode apenas ser explicado pelo aquecimento por efeito estufa (Figura 6).

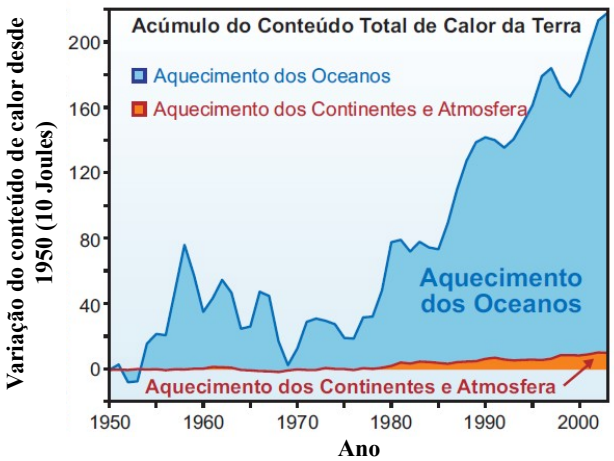


Figura 6. Padrão de aquecimento dos oceanos.
Fonte: Cook (2010)

Evidência 6: noites mais quentes do que os dias

Um efeito estufa mais intenso implica em aumentos de temperatura maiores durante as noites do que ao dia. Durante o dia, o sol aquece a superfície da Terra. À noite, a superfície se resfria irradiando calor para o espaço. Os gases de efeito estufa tornam esse processo mais lento. Se o aquecimento fosse causado pelo sol, ter-se-ía uma tendência mais forte de aquecimento durante o dia. Ao invés disso, o que se observa é o número de noites quentes aumentando mais rápido que o número de dias quentes (Figura 7).

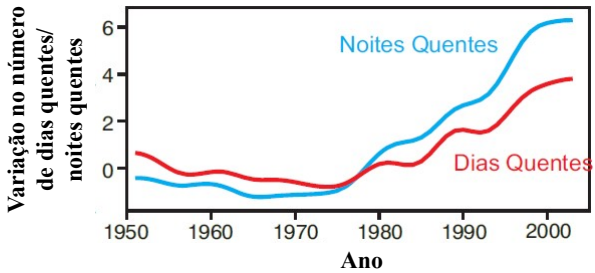


Figura 7. Variação no longo prazo do número anual de dias quentes (vermelho) e noites quentes (azul). Quente é definido aqui como os 10% mais quentes do período estudado.
Fonte: Cook (2010).

Existem outras diversas evidências como o aumento do nível dos mares, a retenção de calor na atmosfera baixa, aquecimento maior no inverno do que no verão, enfim, situações medidas e provadas cientificamente de que a Terra está se aquecendo.

Impactos das mudanças do clima no Brasil

Em Brasil (2016b), a partir de análises dos modelos do IPCC (AR5), foi fornecido um quadro geral dos impactos no Brasil, utilizando um cenário pessimista e outro otimista. O cenário pessimista é referente ao RCP8.5 do IPCC e o cenário otimista é referente ao RCP2.5 do IPCC (Figura 8).

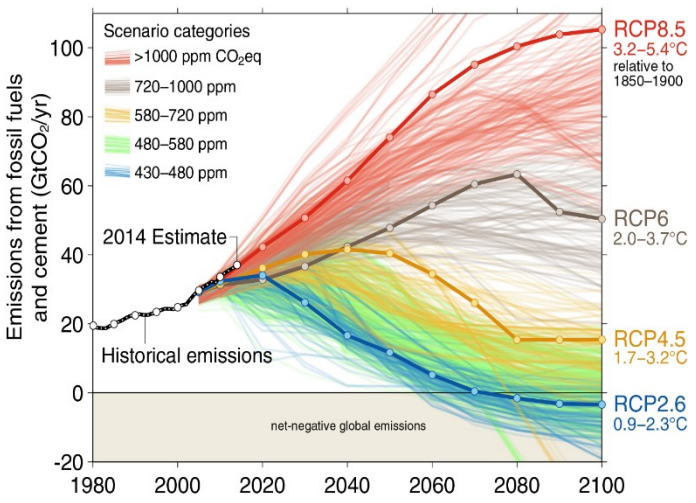


Figura 8. Cenários do IPCC em função da variação futura de concentração de CO_2.
Fonte: Edenhofer et al. (2014).

Os chamados RCPs (Representative Concentration Pathways) servem como entrada para a modelagem climática e química atmosférica nos experimentos numéricos do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5). Os RCPs recebem seus nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas, conforme relatado por cada equipe de modelagem elaboradora de cada RCP. Assim, RCP-X implica em um cenário no qual a forçante radiativa de estabilização em 2100 corresponde a X W m^{-2}.

Neste sentido e seguindo estas métricas, as tendências futuras dos impactos do aquecimento global no Brasil seriam (Brasil, 2016b):

- Região Norte: Cenário pessimista é de 4 °C a 8 °C mais quente e 15% a 20% de redução de chuvas; Cenário otimista: 3 °C a 5 °C mais quente e 5% a 15% de redução de chuvas.
- Região Nordeste: Cenário pessimista é de 2 °C a 4 °C mais quente e 15% a 20% de redução de chuvas; Cenário otimista de 1 °C a 3 °C mais quente e 10% a 15% de redução de chuva.
- Região Centro-Oeste: Cenário pessimista é de 2 °C a 4 °C mais quente e aumento de chuvas intensas irregulares; Cenário otimista é de 1 °C a 3 °C mais quente e aumento de chuvas intensas irregulares.
- Região Sudeste: Cenário pessimista de 3 °C a 6 °C mais quente e aumento de chuvas intensas irregulares; Cenário otimista de 2 °C a 3 °C mais quente e aumento de chuvas intensas irregulares
- Região Sul: Cenário pessimista de 2 °C a 4 °C mais quente, 5% a 10% de aumento de chuvas intensas irregulares; Cenário otimista de 1 °C a 3 °C mais quente e 0% a 5% de aumento de chuvas intensas irregulares.

A quantidade de água no solo é uma variável fundamental para o crescimento da cobertura vegetal, seja natural ou agrícola. Em um determinado local, essa quantidade varia continuamente ao longo dos dias, meses e estações do ano, em função das condições meteorológicas e do tipo de cobertura vegetal sobre o solo (Dantas et al., 2007). O regime de chuvas, que determina a quantidade e a frequência da entrada de água no solo, e a evapotranspiração que determina a perda de água, são determinantes no resultado do balanço hídrico.

Uma forma de se estimar o conteúdo de água no solo é pela aplicação de modelos ou métodos de cálculo do balanço hídrico que, basicamente, contabilizam entradas e saídas de água no sistema ou solo considerado. O balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM) (Camargo, 1971; Sentelhas et al., 1999; Pereira et al., 2002).

A aplicação do balanço hídrico em séries de dados meteorológicos dos últimos 30 anos permite a determinação do chamado "Baseline" ou Referência, que representa as condições atuais. E a aplicação do mesmo método em séries de dados corrigidos ou gerados para cenários futuros permite a comparação direta entre a condição do período base ("atual") e cenários futuros. Utilizando um dos cenários futuros do IPCC, como o do modelo HDGEM2-ES, com a forçante RCP8.5, observa-se os seguintes impactos:

- Aumento da temperatura.
- Aumento da evapotranspiração potencial.
- Redução do excedente hídrico.
- Aumento da deficiência hídrica.

Analisando-se com maior detalhe os mapas da Figura 9, é possível verificar o aumento da deficiência hídrica em direção à região Centro-Oeste. Tal cenário poderá, no futuro, promover a redução na produtividade do eucalipto, uma vez que o incremento médio anual é diretamente afetado pela disponibilidade de água no solo. Deficiências anuais acima de 200 mm costumam indicar regiões limitantes para a produção dessa cultura.

Um dos maiores impactos do aquecimento global no Brasil é o aumento da deficiência hídrica ao longo dos anos. Cada tipo de cultura sofrerá um impacto diferente em função da diferenciação espaço-temporal da deficiência hídrica.

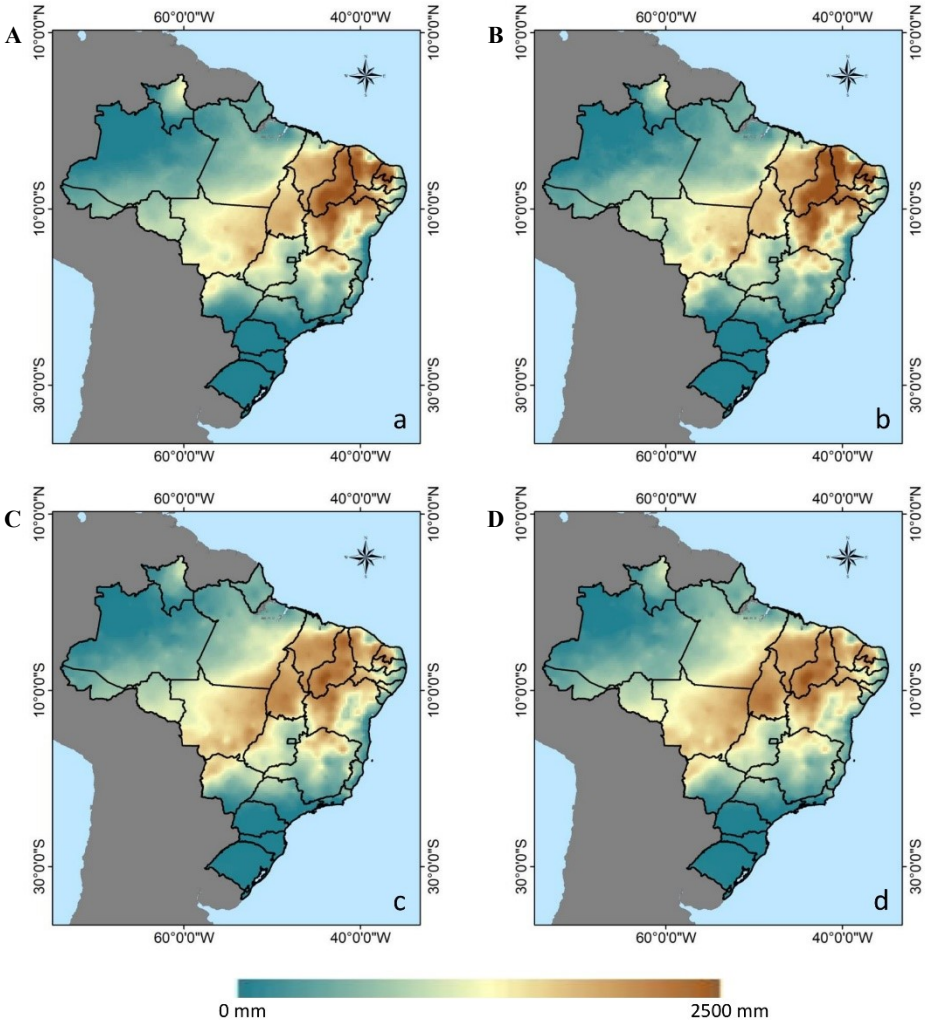


Figura 9. Mapa da deficiência hídrica, determinada pelo balanço hídrico climatológico, método de Thornthwaite, para os períodos A) 1986-2015, B) 2006-2015, C) 2021-2030, e D) 2031-2040.
Fonte: organizado pelos autores.

Os modelos globais

Modelos climáticos globais e regionais têm avançado nos últimos anos em termos da representação de processos e fenômenos críticos para estudo das mudanças climáticas globais, seus impactos sobre o Brasil e ações de mitigação. Parte do avanço vem do aumento da resolução espacial e parte da inclusão de controles climáticos

provenientes de novas componentes do sistema e da interação entre elas. O Brasil tem-se destacado nesta área, mediante o desenvolvimento de modelos atmosféricos globais e regionais, tais como os modelos atmosféricos globais.

Modelos de Circulação Geral (MCG) são modelos matemáticos de circulação geral da atmosfera planetária ou oceânica baseados nas equações de Navier-Stokes em uma esfera rotativa de fontes termodinâmicas. As equações diferenciais parciais não-lineares de Navier-Stokes são utilizadas para descrever o movimento turbulento dos fluidos e surgiram da aplicação da Segunda Lei de Newton ao movimento dos fluidos. Em suma, estabelecem que mudanças no momento e na aceleração de uma partícula fluida são simplesmente o produto das mudanças na pressão e forças viscosas dissipativas atuando dentro do fluido.

Juntamente com o gelo oceânico e os constituintes da superfície da Terra, são componentes fundamentais dos Modelos Climáticos Globais, os Modelos de Circulação Geral Atmosférica (MCGA) e os Modelos de Circulação Geral Oceânica (MCGO). Quando estes dois últimos são acoplados, geram um Modelo de Circulação Geral Acoplado (MCGA) ou Modelo de Circulação Geral Oceano-Atmosfera (MCGOA). Desta forma, quando outros pequenos modelos, como o de Gelo Oceânico ou Evapotranspiração são anexados, produz-se um Modelo Climático completo, muito utilizado para previsões de tempo, clima e projeções climáticas. Modelos que incluem componentes climáticos detalhados precisam de muitos recursos computacionais para produzir projeções para muitos anos no futuro, necessitando de equipamentos cada vez mais poderosos. Caso isso não seja possível, a alternativa é simplificar os cálculos realizados. Além disso, os modelos possuem limitações e incertezas que, de acordo com Kerr (2001), advêm dos modelos químicos, físicos e sociais.

Os modelos climáticos estão sendo submetidos a testes mais abrangentes, incluindo as avaliações das previsões em escalas de dias a um ano. Dessa forma, um conjunto diversificado de ensaios aumenta a confiança na fidelidade com que os modelos representam os processos que afetam as projeções do clima. Como exemplo, Hamada et al. (2008) e Ghini et al. (2011) agruparam 15 modelos climáticos globais, de acordo com a precipitação pluviométrica média em cada estação do ano, para a região Sudeste do Brasil com as anomalias do período de 2071-2100.

Os Modelos do CMIP5

Os dados provenientes do CMIP5 são resultantes de simulações de modelos globais de alguns Centros de Pesquisa que contribuem para a elaboração dos relatórios do IPCC, forçadas pelas concentrações observadas de GEE na atmosfera terrestre durante o século XX. Para cada modelo, são considerados diferentes membros, conforme disponibilizados pelo CMIP5 e relatados por Silveira et al. (2013).

Na Figura 10 é apresentado um esquema da evolução da modelagem climática desde 1990.

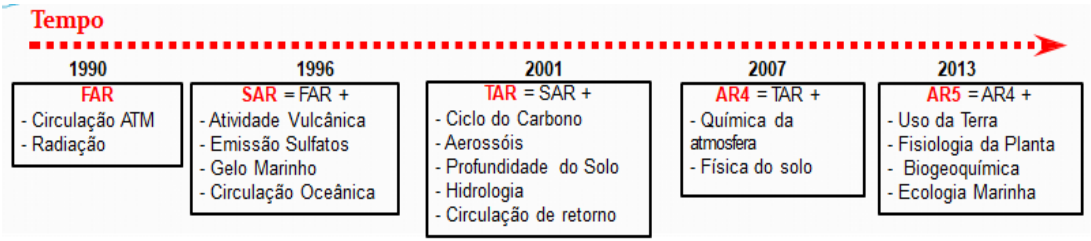


Figura 10. Avanços na modelagem climática.Adaptado de : Ciais et al. (2013).
FAR: First Assessment Report; FAR: second assessment Rerpot; TAR: Third Assessment Report.

Observa-se uma importante evolução no aperfeiçoamento dos modelos climáticos globais que indicam atualmente uma incerteza de 5% na estimativa da temperatura. Após uma exaustiva análise e comparação entre modelos, Silveira et al. (2013) concluíram que quatro modelos representam satisfatoriamente as condições brasileiras, sendo, portanto, recomendados para modelagens futuras do clima tropical brasileiro, conforme ilustrado na Figura 11.

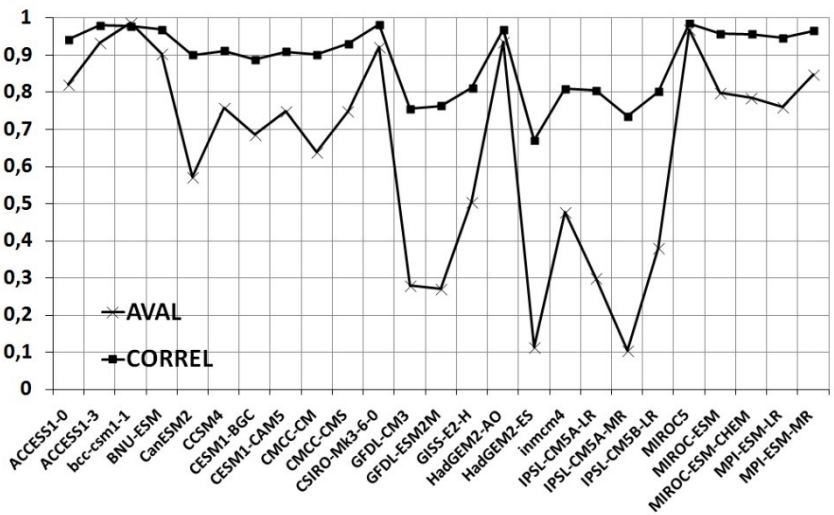


Figura 11. Análise da precipitação pluviométrica sazonal dos modelos do IPCC-AR5 para o século 20.
Fonte: Silveira et al. (2013).

Os modelos CCSMS, CISR)-MK3-6-0, Hadgem2-ES e o MIROC-ESM-LR são aqueles que apresentaram a melhor correlação entre os dados observados e os dados estimados pelos modelos. De uma maneira geral, o modelo mais utilizado no Brasil é o Hadgem2-ES e o ETA-HADGEM calibrado pelo INPE. Neste capítulo, todos os impactos das mudanças do clima no eucalipto foram calculados com as saídas do modelo HADGEM2-ES

Gases de efeito estufa

Como explicado anteriormente, o clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível. Parte dessa energia é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Os GEEs são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte dessa radiação infravermelha. Muitos deles, tais como o vapor d'água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o ozônio (O_3) existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida, pois, sem eles, a Terra seria, em média, cerca de 30 °C mais fria.

Como consequência das atividades antrópicas na biosfera, o nível de concentração de alguns desses gases, como CO_2, CH_4 e N_2O vem aumentando na atmosfera terrestre. Além disso, passou a ocorrer emissão de outros GEEs, compostos químicos produzidos somente pelo homem, tais como clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6). Como estipulado pelo GHG Protocol, os GEEs a serem quantificados e reportados são:

- Dióxido de carbono (CO_2).
- Metano (CH_4).
- Óxido nitroso (N_2O).
- Hexafluoreto de enxofre (SF_6).
- Hidrofluorcarbonos (HFCs).
- Perfluorcarbonos (PFCs).
- Trifluoreto de Nitrogênio (NF_3).

Os cálculos devem incluir apenas as emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de GEEs não controlados pelo Protocolo de Montreal. Por isso, não se deve incluir os gases CFCs e os HCFCs que destroem a camada de ozônio, os quais já são controlados pelo Protocolo de Montreal.

Os GEEs cujas emissões antrópicas e remoções são tipicamente relacionados às atividades de uma cadeia agrícola, são o CO_2, CH_4 e o N_2O. Outros gases como

o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e outros compostos de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) são considerados gases precursores do efeito estufa, pois possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera terrestre.

O dióxido de carbono equivalente (CO_2eq)

Dióxido de carbono equivalente (CO_2eq) é uma métrica utilizada para equalizar as emissões de vários GEEs, com base na relativa importância de cada gás em relação ao CO_2, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária), vários anos após um impulso de emissão. Para o cálculo do CO_2eq são utilizadas algumas conversões, sendo que a mais utilizada é o GWP (Global Warming Potential) proposto pelo IPCC. O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4) já examina métricas alternativas ao GWP e o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5) aprofunda essa análise. Entre as métricas propostas apresentadas no AR4 está o Global Temperature Potential (GTP) (Tabela 2).

Tabela 2. Conversão de Emissões em GWP-100 e GTP-100.

Gas	GTP-100	GWP-100
CO_2	1	1
CH_4	5	25
N_2O	270	298
HFC-125	1.113	3.500
HFC-134a	55	1.300
HFC-143a	4.288	1.430
HFC-152a	0,1	124
CF4	10.052	7.390
C_2F_6	22.468	12.200
SF6	40.935	22.800

Os estudos e dados obtidos pela comunidade científica têm contribuído para a elaboração do inventário nacional de emissões de GEE, sob coordenação do Ministério de Ciência e Tecnologia (Brasil, 2016a).

O conhecimento do perfil de emissões de GEE ajuda a estabelecer estratégias, metas e planos para a redução e a gestão das emissões. A metodologia adotada para contabilizar essas emissões foi baseada em observações experimentais locais ou regionais durante períodos limitados do ano, que foram extrapoladas para todo o País. Resultados de emissão de GEE e suas incertezas são importantes para identificar e avaliar o perfil das fontes de emissões e também para projetar cenários futuros de emissões ou reduções das concentrações de GEE. As estimativas das emissões são necessárias para a análise de medidas mitigadoras dos efeitos do aquecimento global, sejam elas a escolha de tecnologias de controle, as avaliações de custos de abatimento ou as ponderações da participação de cada fonte e de cada país nas emissões globais.

A seguir, são detalhadas as principais fontes de emissão de GEE.

GEE - Fontes de emissão

CO_2
- Mudança no uso do solo e desflorestamento.
- Queima de combustíveis fósseis (uso de combustíveis fósseis, principalmente pelos setores energético, industrial e de transportes).
- Emissões fugitivas (mineração de carvão, extração e transporte de petróleo e gás natural).
- Processos industriais (produção de cimento, cal, amônia, alumínio).

CH_4
- Mudança no uso do solo e desflorestamento.
- Queima de combustíveis fósseis (uso de combustíveis fósseis, principalmente, pelos setores energético, industrial e de transportes).
- Agropecuária (fermentação entérica, manejo de dejetos de animais, cultura de arroz, queima de resíduos agrícolas).
- Tratamento de resíduos (lixo e esgoto industrial e doméstico).
- Emissões fugitivas (mineração de carvão, extração e transporte de petróleo e gás natural).
- Processos industriais (indústria química).

N_2O
- Agropecuária (principalmente associado ao manejo de dejetos de animais, solos agrícolas, queima de resíduos agrícolas).
- Mudança no uso do solo e desflorestamento.
- Processos industriais (indústria química - produção de ácido nítrico e adípico).
- Tratamento de resíduos (esgoto doméstico).

HFC, PFC, SF
- Estes gases não existiam originalmente na natureza, sendo produzidos em processos industriais, principalmente no consumo em equipamentos de refrigeração e elétricos, e na produção de alumínio.

GEE Indireto

CO
- Queima de combustíveis fósseis (uso de combustíveis fósseis principalmente pelos setores energético, industrial, de transporte e residencial).
- Processos industriais (indústria química, indústria de alumínio e papel e celulose).
- Agropecuária (queimadas para a colheita de cana-de-açúcar).
- Queimadas em mudança no uso do solo e desflorestamento.

NO

- Queima de combustíveis fósseis (uso energético de combustíveis fósseis principalmente nos setores energético, industrial, de transporte e residencial).
- Processos industriais.
- Agropecuária (queima de resíduos de cana-de-açúcar e algodão).
- Queimadas em mudança no uso do solo e desflorestamento.

NMVOC

- Queima de combustíveis fósseis (uso energético de combustíveis fósseis principalmente nos setores energético, industrial, de transporte e residencial).
- Processos industriais (indústria química, de alumínio, papel e celulose, e de alimentos e bebidas).
- Uso de solventes.

Emissões de gases de efeito estufa no Brasil pela agropecuária

Informações e estimativas feitas pelo MCTI&C (Brasil 2016a), indicam que a maioria das emissões da agropecuária vem da fermentação entérica dos bovinos, seguida das emissões dos solos agrícolas, manejo dos dejetos agrícolas e do cultivo de arroz que, em 2017, totalizou 490 milhões de toneladas de CO_2 equivalente. Na Figura 12 são fornecidas as maiores emissões do setor agropecuário. Entretanto, é importante salientar que, com o crescimento das atividades florestais, bem como da melhoria da tecnologia da pecuária, a tendência é de que estas emissões sejam cada vez menores.

Ao se analisar os impactos da ação humana nas mudanças climáticas, a agropecuária é mencionada como uma das principais causas do desmatamento da floresta tropical, contribuindo para o aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE), conforme relato de Manzatto et al. (2018).

As emissões do setor, cerca de 31% do total nacional, são oriundas do processo produtivo, ou emissões de gás metano na pecuária, liberação de carbono pelas práticas de manejo do solo e outras. Se, por um lado, essas externalidades negativas geradas pela agropecuária podem fragilizar a imagem do setor, por outro lado representam uma excelente oportunidade para reduzir emissões ou mesmo recompor os estoques de carbono que foram liberados ao longo das últimas décadas. Esta recomposição deverá ser contabilizada para o cumprimento dos compromissos internacionais de redução de emissões que o Brasil assumiu voluntariamente por meio do Plano ABC e que foram ratificados e ampliados em 2016 na COP-21, em Paris. Dessa forma, cada vez mais os impactos do aquecimento global no Brasil serão verificados por meio de métricas que façam o balanço entre emissão/remoção. Os resultados preliminares do Plano ABC, onde o componente florestal é um dos mais importantes, mostra que é possível reduzir as emissões do setor agropecuário, com remoção de carbono da atmosfera e fixação

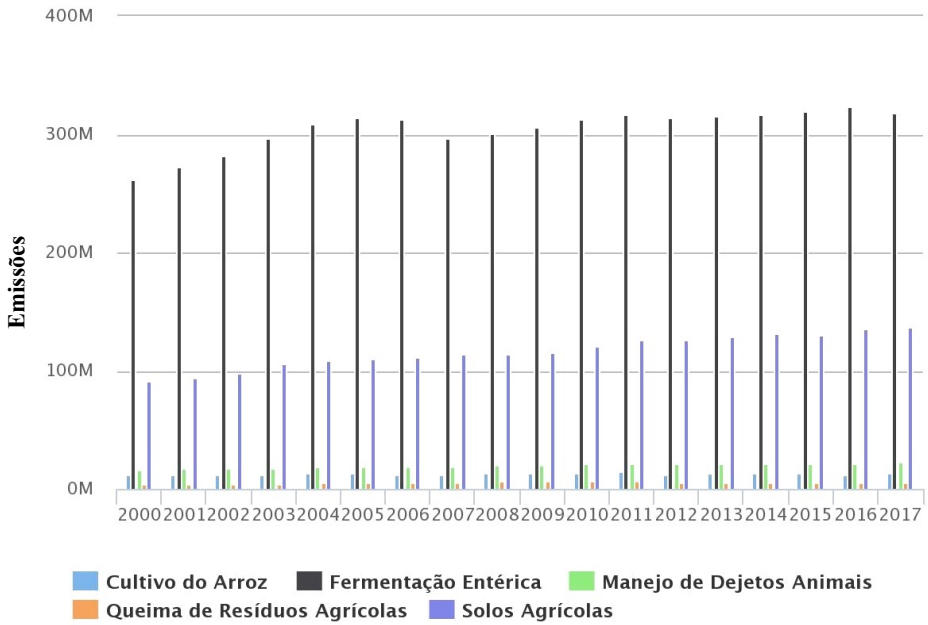


Figura 12. Indicação das principais fontes de emissão na agricultura.
Fonte: Seeg Brasil (2019).

deste carbono no solo, ou imobilizado na madeira. Segundo o SEEG Brasil (2019), as remoções por reflorestamento/silvicultura atingem em torno de 100 milhões de CO_2eq/ano, desde 2003. O potencial de remoção de carbono das florestas plantadas é muito grande. Moreira (2010) encontrou em solos de textura média, um estoque de carbono em áreas reflorestadas, cômoda ordem de 32,4 tC/ha para teca (*Tectona grandis*), 31,6 tC/ha em um consórcio de ipê-rosa e freijó e 45,6 tC/ha no plantio de ipê-rosa e caixeta. Gatto et al. (2010), na região centro-leste do estado de Minas Gerais, em plantações de eucalipto com 84 meses de idade, encontrou estoque variando de 251 tC/ha a 186 tC/ha. Silva et al. (2015), fazendo a partição nos diversos componentes da biomassa aérea do eucalipto, encontrou 38,9 kgC/árvore. Esses resultados são significativos e mostram o grande potencial de remoção de carbono da atmosfera e imobilização de carbono da madeira, reduzindo as emissões de GEE em reflorestamentos comerciais.

Principais riscos climáticos para a cultura do eucalipto

Temperatura

As altas temperaturas observadas nos Trópicos favorecem a produção de eucalipto. Durante o inverno, as plantas não entram no processo de dormência, como ocorre nas latitudes elevadas, pois raramente atingem valores médios diários abaixo da temperatura basal do eucalipto.

Dentro da amplitude térmica em que a fotossíntese ocorre, três variáveis podem ser definidas como prioritárias para o desenvolvimento do eucalipto: temperatura mínima ou basal inferior (Tbi), temperatura ótima (Tot) e temperatura máxima ou basal superior (Tbs). Para além desses limites, deve-se mencionar as temperaturas crítica ou letal inferior (Tci) e superior (Tcs).

Segundo Almeida et al. (2004), a temperatura ótima para fotossíntese seria 25 °C, com limite inferior de 8 °C e limite superior de 36 °C, para produção de eucalipto no norte do estado do Espírito Santo.

Para um grande número de espécies vegetais, a temperatura crítica inferior é aquela em que ocorre o congelamento e, consequentemente, morte das células vegetais. Porém, o ponto de congelamento varia de acordo com a espécie, dependendo da sua capacidade de produzir proteínas anticongelamento e açúcares crioprotetores. Plantas lenhosas, em particular, possuem maior resistência ao congelamento devido a mecanismos protetores como a desidratação.

Floriani et al. (2013), avaliando o efeito da aclimatação sobre a tolerância ao frio em espécies de eucalipto, determinaram a temperatura letal 50% (TL_{50}) para mudas não aclimatadas em -4,5 ºC para *Eucalyptus benthamii*, -3,9 ºC para *Eucalyptus dunnii*, e -2,0 ºC para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.

Portanto, dependendo da espécie considerada, a temperatura letal crítica inferior pode ser diferente. Em análises de ocorrência de temperaturas baixas, normalmente, considera-se como referência a temperatura de relva, ou seja, a temperatura mais próxima ao solo. Ao nível do solo ou da cultura quando se trata de espécies anuais de baixo porte, a temperatura chega a ser, geralmente, 2 graus menor do que a registrada no abrigo meteorológico (Sentelhas et al., 1999). Porém, isso não corresponde à realidade do eucalipto, a não ser no caso de mudas recém-plantadas, quando ainda estão pequenas e mais próximas ao nível do solo.

Segundo Dibax (2007), as árvores de eucalipto afetadas por temperaturas congelantes apresentam vários danos e, quando observadas à distância, possuem um aspecto de queima ou bronzeamento da folhagem. Higa et al. (1994) citam que, além de danos diretos, como morte total ou parcial da copa, até a morte plena da planta, os danos

indiretos, que são os mais frequente, não apenas podem restringir o potencial de crescimento das plantas, como também podem contribuir para a suscetibilidade à infecção por patógenos e, até mesmo, inviabilizar povoamentos comerciais de eucaliptos.

Com a expansão das áreas de plantio de eucalipto na região Sul do País, a escolha de material genético resistente à geada é um grande desafio. Cauvin e Potts (1991) realizaram um estudo na França, utilizando mais de 300 diferentes clones de eucalipto, mostrando que o material genético com maior resistência à geada é *E. dunnii*. Higa et al. (1997), em estudo realizado em Campo do Tenente, PR, classificaram a espécie como uma das melhores do gênero, em crescimento e resistência a injúrias causadas pela geada, com desempenho similar ao de *E. viminalis* já testado nestas condições.

Nesse contexto, para a avaliação dos riscos climáticos de temperatura para o eucalipto, alguns limites de referência podem ser utilizados, conforme especificado na Tabela 3.

Tabela 3. Temperaturas cardinais consideradas para avaliação de potencial e riscos climáticos em cultivos de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e do híbrido "urograndis" (*E. urophylla* x *E. grandis*).

Tamanho da planta	Temperatura cardinal (°C)				
	Tci	Tbi	Tot	Tbs	Tcs
Mudas e plantas novas <50 cm	0	8	25	36	40
Planta >50 cm altura	-2	8	25	36	40

Chuva (máxima, mínima e média)

Nos Trópicos, a disponibilidade hídrica de uma região é uma das características climáticas mais importantes para o crescimento de plantas. Ao contrário dos demais elementos meteorológicos, a chuva é muito mais variável, constituindo-se no principal fator determinante da produtividade.

Além de se conhecer o total anual, é de grande importância saber a distribuição das chuvas ao longo do ano. Muitas vezes, mesmo sendo os totais anuais maiores que a média histórica, as precipitações pluviais ocorrem concentradas em poucos eventos, favorecendo a ocorrência do escoamento superficial e a percolação profunda da água no solo. Em casos extremos, o excesso de chuvas pode provocar prejuízos consideráveis decorrentes da erosão superficial do solo. Dependendo da intensidade e tamanho das plantas, a erosão pode provocar desde uma simples exposição de raízes até a perda de plantas e falhas de plantio.

Por outro lado, em outros meses do mesmo ano, podem não ocorrer chuvas suficientes para repor a água no solo, causando, assim, deficiência hídrica.

Tanto a falta quanto o excesso de chuva podem ser prejudiciais. O eucalipto submetido ao excesso de água, decorrente da alta pluviosidade, pode apresentar anomalias como a necrose foliar, a presença da seca de ponteiros nos galhos e na haste

principal, brotações adventícias ao longo do fuste e dos galhos, lançamento de folhas com limbo afilado, deformado e com sintomas de deficiência nutricional, em árvores adultas, além de obstrução com tiloses em vasos do xilema da haste, do lenho e das raízes. A doença do ponteiro seco, por exemplo, tem sido relacionada tanto ao déficit, quanto ao excesso hídrico, indicando que existe relação entre esta doença e o regime hídrico local (Maschio et al., 2000).

A forma mais adequada de se avaliar a disponibilidade de água para um cultivo é por meio do balanço hídrico. No entanto, mesmo sem o desenvolvimento mais elaborado do balanço hídrico, é possível estabelecer alguns indicadores mais simples e diretos a partir da pluviosidade de um local (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de referência estabelecidos para a implantação de povoamentos de produção de eucalipto, para as espécies trabalhadas.

Espécie	Pluviosidade anual favorável		Evento extremo de chuva diária
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Máxima (mm)
*Eucalyptus grandis**	1000	1800	100
*Eucalyptus urophylla**	1000	1500	100

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2009).

Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração é o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera, por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas. A evapotranspiração de referência (ETo) é a quantidade de água que seria evaporada e transpirada por uma vegetação em condições padronizadas e sem restrição hídrica. Dessa forma, a ETP é limitada apenas pelo balanço vertical de energia, ou seja, pelas condições do ambiente local (Pereira et al., 2002).

Logo, a ETo é o valor indicativo da demanda evapotranspirativa da atmosfera em um dado local, num dado período.

Se, por um lado, a chuva representa a fonte principal ou oferta hídrica para as culturas agrícolas, por outro a evapotranspiração representa o consumo ou a demanda hídrica. A diferença entre a oferta e demanda é que definirá a disponibilidade hídrica para a cultura, fator primordial na definição da produtividade.

Em áreas extensas ou em períodos passados, como em séries de dados meteorológicos, a maneira mais prática de se estimar a disponibilidade ou deficiência hídrica para uma cultura é por meio do cálculo do balanço hídrico do solo.

Porém, a despeito das incertezas ou eventuais dificuldades para o levantamento de parâmetros necessários para um balanço hídrico preciso, a evapotranspiração pura e simples acaba se apresentando como um indicador muito mais simples e prático para

a identificação de períodos críticos de demanda ou consumo hídrico. Em períodos críticos com ETo já elevada ou em elevação, com ausência ou escassez de chuvas, é fundamental a existência de reserva hídrica suficiente nos solos. Em mudas jovens de eucalipto, com sistema radicular ainda pouco desenvolvido, a reserva hídrica do solo esgota-se rapidamente em condições de elevada demanda com ausência de chuvas, sendo necessário irrigação suplementar ou de "salvamento" para garantir a sobrevivência das mudas ao período adverso.

Dessa forma, a ETo é um importante indicador simples e prático para avaliar o impacto de mudanças climáticas na demanda hídrica de um local.

Para as análises deste estudo orientado à quantificação de condições de estresse vegetal e risco de produção, no presente e em cenários futuros, serão consideradas as categorias de evapotranspiração alta e muito alta, conforme identificadas na Tabela 5.

Tabela 5. Classificação de intervalos de evapotranspiração de referência para as análises de frequência e risco (Monteiro, 2009).

ETo	ETo (mm/dia)	Impacto esperado
Baixa	0 a 3	• Baixa demanda hídrica, normalmente associada a dias nublados e, ou com baixas temperaturas • Necessidades da planta são atendidas mesmo com armazenamento baixo. Não representa risco imediato.
Média	3 a 5	• Média demanda hídrica, normalmente associada a dias parcialmente nublados e, ou com temperaturas moderadas • Necessidades da planta podem ser supridas com armazenamento médio e alto • Não representa risco imediato
Alta	5 a 7	• Alta demanda hídrica, normalmente associada a dias ensolarados e altas temperaturas • Condição de alta demanda hídrica desfavorável para a maioria dos cultivos • O eucalipto, por ser uma espécie de excelente controle estomático, é menos afetado e terá suas necessidades de água supridas em solo com armazenamento elevado • As plantas podem apresentar sintomas de deficiência nas horas mais quentes do dia, mesmo com elevado armazenamento, principalmente mudas • Essa intensidade de ETo normalmente ocorre depois de uma sequência de vários dias sem chuva, e se intensificam a medida que a umidade do ambiente decresce e as temperaturas aumentam progressivamente • Maior respiração com menor fotossíntese, resultando em redução ou parada temporária do crescimento • Condição de risco alto para mudas recém-plantadas

Continua...

Tabela 5. Continuação....

ETo	ETo (mm/dia)	Impacto esperado
Muito alta	>7	• Condição muito desfavorável para agricultura de modo geral, mesmo para as culturas mais resistentes a altas temperaturas • Alta demanda hídrica, normalmente associada a dias ensolarados, altas temperaturas e umidades do ar muito baixas e, ou vento intenso • O eucalipto, por ser uma espécie de excelente controle estomático, é menos afetado, perderá menos água. As suas necessidades de água não são supridas nem em solo com armazenamento elevado. • As plantas apresentam evidentes sintomas de deficiência nas horas mais quentes do dia, mesmo com elevado armazenamento, principalmente mudas. • Essa intensidade de ETo só ocorre depois de uma sequência de muitos dias sem chuva, resultado de um processo de agravamento à medida que a umidade do ambiente decresce e as temperaturas aumentam progressivamente. • Maior respiração com menor fotossíntese, resultando em redução ou parada temporária do crescimento. • Comum ocorrer ressecamento e morte de ponteiros muito tenros em mudas jovens. • Condição de altíssimo risco para mudas recém-plantadas.

Disponibilidade hídrica e déficit hídrico para eucalipto

De acordo com Fageria (1992), citado por Hoogenboom (2000), ao redor de 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo deve-se à variabilidade das condições meteorológicas durante o ciclo de cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro, já que os agricultores não podem exercer nenhum controle sobre tais fenômenos naturais. De acordo com Ray et al. (2015), em grande parte das principais regiões mundiais de produção de alimentos, mais de 60% da variabilidade da produção podem ser explicados pela variabilidade meteorológica interanual. E, no Brasil, pode chegar a mais de 75%, dependendo da cultura e da região.

No Brasil, a maior parte da área agrícola está situada em regiões sujeitas a restrições hídricas mais ou menos intensas, de forma que é a principal causa da variabilidade da produção agrícola nacional, inclusive a do eucalipto. Mesmo os efeitos deletérios diretos causados por temperatura elevadas estão, até o presente, normalmente associadas aos períodos mais longos de estiagem.

Nesse contexto, a deficiência hídrica se apresenta como o principal fator de risco para a produção do eucalipto no Brasil

Para caracterizar e quantificar esse risco, é necessário levar em conta algumas características do eucalipto que lhes conferem melhor adaptação a situações de

restrição hídrica, especialmente nos híbridos de *E. grandis x E. urophylla,* do que na maioria das outras espécies cultivadas desse Gênero.

Outra característica importante é o sistema radicular que, em solos favoráveis, consegue alcançar grandes profundidades. Almeida e Soares (2003) compararam o uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e em vegetação nativa da Mata Atlântica, e concluíram, considerando o ciclo de crescimento de sete anos, que o eucalipto pode consumir menos água que a mata nativa, na região estudada. Nos anos em que a precipitação pluviométrica aproximou-se da média histórica, ocorreu o equilíbrio da evapotranspiração para os dois ecossistemas. E, nos anos em que a precipitação pluviométrica foi inferior à média histórica, a vegetação da Mata Atlântica apresentou taxas de evapotranspiração superiores àquelas do eucalipto. No entanto, esta característica em particular nem sempre se manifesta plenamente devido às limitações dos solos. Solos com impedimentos físicos ou químicos podem limitar severamente o desenvolvimento radicular em profundidades maiores.

Esses aspectos condicionam a resposta do eucalipto às situações de alta e baixa demanda evapotranspirativa, alta e baixa oferta hídrica, e definem seu consumo hídrico. Sacramento Neto (2001) obteve, para plantios com um e dois anos de idade, taxas médias de evapotranspiração real (ETr) aproximadamente iguais 5,0 mm d^{-1} e 1,4 mm d^{-1}, nos períodos úmidos e secos do ano, respectivamente. Neves (2000) determinou, para plantios adultos, com 10 anos de idade, ETr aproximada de 5,7 mm d^{-1} e 2,3 mm d^{-1}, nos períodos úmido e seco do ano, respectivamente.

Essas respostas podem ser adequadamente representadas pelo balanço hídrico, permitindo produzir indicadores objetivos de favorabilidade ou desfavorabilidade do ambiente, no presente ou em cenários futuros. Um dos indicadores mais utilizados do estado hídrico para um certo local e cultura é o déficit hídrico (DH), por ser facilmente relacionável com condições limítrofes ou críticas. Por exemplo, o déficit hídrico derivado do balanço hídrico climatológico tem sido utilizado como indicador para a escolha de materiais genéticos de eucalipto. Gonçalves (2014), considera regiões de DH elevado aquelas com valor anual entre 100 mm/ano e 200 mm/ano, recomendando espécies ou híbridos de média à alta tolerância à seca. E, regiões com déficit entre 200 mm/ano e 400 mm/ano são consideradas de DH muito elevado, recomendando apenas espécies ou híbridos de alta tolerância à seca.

Para as análises de frequência de ocorrência de condições de estresse e risco de produção, no período base e em cenários climáticos futuros, serão consideradas as categorias de déficit hídrico médio, alto e muito alto.

Modelagem de crescimento do eucalipto a partir de parâmetros climáticos

Para a determinação do impacto na produtividade da cultura de eucalipto, um indicador que pode ser utilizado é o ISNA (índice de satisfação de necessidade de água). Este índice é o principal indicador para avaliação dos riscos hídricos utilizado no Zoneamento Agrícola de Risco Climático, aplicado pelo Ministério da Agricultura há mais de 25 anos, nas regras do Proagro. Para efeito de simulação, foram consideradas quatro regiões:

- NE, com IMA (Incremento Médio Anual) de 30 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (Região A).
- Centro-Oeste e litorânea, com IMA de 40 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (Regiões B e C).
- Sul, com 55 m^3 ha^{-1} ano^{-1}(Região D).

A avaliação do impacto das mudanças do clima é feita utilizando as projeções do Modelo HADgem2-ES para os períodos de 2010-2020, 2020-2030 e 2030-2040 para as quatro regiões, tendo como referência o período de 1980 a 2010 (considerado aqui como a normal climatológica). Um primeiro passo é verificar a relação entre os dados observados e os dados gerados pelo modelo. Comparações feitas em diversas regiões do Brasil mostram a acurácia do modelo HadGem2-ES e a incerteza dos dados, conforme ilustrado na Figura 13.

Devido à inexistência no Brasil de séries históricas de 30 anos, em quantidade e qualidade suficientes, de umidade relativa, saldo de radiação e velocidade do vento, a evapotranspiração de referência (ETo) não pode ser estimada pelo método de Penman-Monteith, considerado o mais preciso e exato e recomendado pela FAO como método

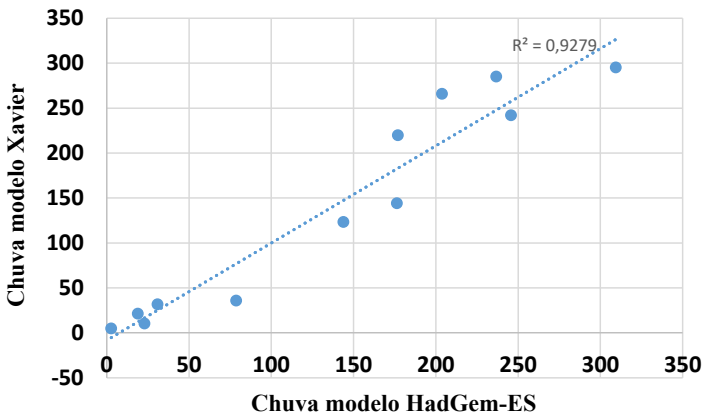


Figura13. Correlação entre as chuvas observadas e estimadas pelo modelo HadGem2-ES, no cenário IPCC RCP 8.5 em Querência, MT.

preferencial (Allen et al., 1998). Os dados de ETo foram estimados a partir das temperaturas mínimas e máximas diárias, pela equação de Hargreaves e Samani (1985), com parametrização otimizada para as condições climáticas das regiões indicadas (Eq. 1), conforme demonstrado em Monteiro et al. (2017). Dos métodos que utilizam apenas a temperatura máxima e mínima, o de Hargreaves e Samani apresenta o melhor desempenho, quando calibrado para as condições locais.

$$ETo = 0{,}0018 * Qo * ((Tmax-Tmin)^{0{,}83}) * (Tmed) - 0{,}5 \quad \text{[Equação 1]}$$

Em que:
ETo = evapotranspiração de referência.
Qo = radiação no topo da atmosfera.
Tmax = temperatura máxima do ar.
Tmin = temperatura mínima e Tmed é a temperatura média.

A partir dos dados de evapotranspiração potencial, chuva e dos parâmetros do eucalipto, foi calculado o balanço hídrico sequencial da cultura pelo método de Thorntwaite e Mather (1955), que permite quantificar as variações de água no solo em função da oferta e demanda hídrica no ambiente de cultivo.

O balanço hídrico é calculado para a condição da cultura com dossel completamente formado, o que ocorre a partir de 12 meses de idade. Os parâmetros de cultura necessários para o cálculo do balanço hídrico são a curva de coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ano e a CAD dada em função de um solo de média capacidade de armazenamento e do sistema radicular profundo do eucalipto.

Alves et al. (2013), avaliando a disponibilidade e a demanda hídrica na fase inicial de desenvolvimento do eucalipto, valores médios de 0,57 para coeficiente de evaporação da água do solo (Ke); 0,13 para coeficiente basal da cultura (Kcb) e 0,70 para coeficiente de cultura único (Kc); na fase de média de desenvolvimento da cultura, os valores foram 0,01; 0,81 e 0,82 para Ke, Kcb e Kc, respectivamente. Em plantios com um e dois anos de idade, Sacramento Neto (2001) obteve taxas médias de evapotranspiração real (ETr) aproximadamente iguais, sendo 5,0 mm d^{-1} nos períodos úmidos e 1,4 mm d^{-1} nos períodos secos do ano. Em plantios adultos com dez anos de idade, Neves (2000) determinou ETr aproximada de 5,7 mm d^{-1} e 2,3 mm d^{-1}, nos períodos úmido e seco do ano, respectivamente.

Considerando os resultados acima e o eficiente controle estomático do eucalipto (Almeida; Soares, 2003), seria apropriado admitir um valor médio de Kc entre 0,8 e 0,9 para plantios de eucaliptos com dossel plenamente formado. Para o período do ano mais favorável, com crescimento ativo adotou-se o valor 0,9 e para os meses mais secos do ano, com crescimento reduzido, adotou-se 0,8. Para os meses de condição intermediária, adotou-se o valor 0,85.

Outro parâmetro fundamental a ser estimado é a capacidade de água disponível à cultura, considerando o tipo de solo e a profundidade do sistema radicular. Almeida e Soares (2003) avaliaram a quantidade de água disponível no solo em uma plantação de eucalipto adulto até a profundidade de 2,5 m. Nessa camada, a curva de variação de água disponível no solo raramente foi superior a 160 mm, indicando um provável referencial para a capacidade máxima de armazenamento do solo.

Apesar das raízes do eucalipto alcançarem profundidades até maiores que dois metros, a quantidade de raízes e o volume de solo explorado diminui drasticamente com a profundidade. A porosidade total do solo, a profundidade a ser aerada e o nível de consumo de oxigênio influem significativamente na porosidade de aeração mínima necessária para uma oxigenação completa de um sistema radicular (Jong Van Lier, 2001). Dessa forma, não se pode adotar uma correspondência direta da profundidade radicular com o volume de solo efetivamente explorado pelas raízes e, consequentemente, a CAD.

Assim, apesar de alcançar maiores profundidades, o sistema radicular não cresce tão profusamente quanto na superfície e, portanto, não pode explorar todo o volume de solo. Dessa forma, em culturas de sistema radicular muito profundo, não deve ocorrer muita variação de CAD em função da textura do solo, como ocorre em culturas de sistema radicular raso. Isso ocorre porque, apesar do menor armazenamento de um solo mais arenoso, sua maior aeração permitiria, nas camadas profundas, um sistema radicular mais denso do que seria possível em um solo mais argiloso e menos aerado (Costello et al., 1991; Bartholomeus et al., 2008).

Porém, a questão da profundidade viável do solo permanece como fator preponderante. Por isso, a aferição das profundidades viáveis do solo, ou seja, sem impedimentos físicos ou químicos, é fundamental para uma correta estimativa de CAD para eucalipto.

A variação de CAD em função da textura do solo e da profundidade não ocorre de forma linear e direta como ocorre em culturas com sistema radicular raso. Isso ocorre porque, apesar do menor armazenamento de um solo mais arenoso, sua maior aeração permitiria nas camadas profundas um sistema radicular mais denso do que permitiria um solo mais argiloso e menos aerado

O eucalipto apresenta uma densidade radicular elevada nas camadas superficiais do solo. No caso específico do eucalipto, para determinação da CAD, além de se considerar que 80% das raízes ativas estão até 30 cm de profundidade, foi determinada a CAD para 1,5 m a 2,0 m.

A partir da distribuição radicular no perfil do solo e da densidade de raízes presente em cada camada, é possível estimar a fração útil da água armazenada, para o cálculo da efetiva capacidade de água disponível (Yu et al., 2007; Besharat et al., 2010). Dessa forma, é possível ajustar um fator de ponderação para a fração útil de água no solo, em função da distribuição radicular. Considerou-se 100% de aproveitamento para densidade radicular acima de 0,30 g/dm^3, com redução proporcional para densidades

menores. Assim, para eucalipto em solos arenosos de baixa capacidade de armazenamento (solo tipo 1), pode-se considerar uma CAD de 105 mm; em solos de média capacidade de armazenamento, geralmente siltosos (solos tipo 2), uma CAD de 135 mm e em solos de alta capacidade de armazenamento, siltosos ou argilosos bem estruturados (solos tipo 3), uma CAD de 150 mm.

Com esse conjunto de parâmetros, é possível estimar a evapotranspiração de referência (ETo) que define a demanda atmosférica; a evapotranspiração potencial da cultura (ETc); a evapotranspiração real da cultura (ETR); o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) dado pela relação ETr/ETc e o déficit hídrico da cultura (DEF). Essas variáveis são calculadas para todas as séries completas, para o período de referência 1981 a 2010, para o cenário e para os cenários HadGEN2-ES de 2011-2020, 2021-2030 e de 2031-2040.

Com os resultados mensais, para cada variável, são definidos os balanços hídricos e determinados os ISNAS anuais, para as regiões A, B, C e D.

Aplicando-se, então, as indicações genéricas, cujos IMAs anuais são 30 m^3/ha, 40 m^3/ha, e 55 m^3/ha para as regiões A, B, C e D, e considerando que o ISNA mais elevado seria o correspondente ao maior IMA, o impacto na produtividade do eucalipto para as quatro regiões foi calculado para solos de CADs diferentes. Para efeito demonstrativo, são apresentados os resultados do solo tipo 3 com CAD de 150 mm (Tabela 6).

Tabela 6. Valores dos IMAs ajustados em função da variação dos ISNAs do solo tipo 2, considerando os IMAs anuais de 30 m^3/ha, 40 m^3/ha e 55 m^3/ha, respectivamente, para as regiões A, B, C e D.

Ano	Região			
	A	B	C	D
1980	27,3	35,9	34,2	57,0
1981	24,3	35,2	33,1	49,0
1982	23,9	31,0	36,6	53,8
1983	24,2	35,0	39,1	56,5
1984	27,7	36,2	32,8	55,0
1985	31,2	32,5	28,9	44,5
1986	30,1	27,5	35,0	54,6
1987	22,2	30,9	37,4	55,0
1988	28,7	30,2	31,5	49,2
1989	30,0	27,9	36,7	56,9
1990	26,1	29,8	38,6	57,1
1991	24,5	40,2	28,4	53,6
1992	20,1	38,0	38,9	55,9
1993	26,9	27,1	28,8	56,1
1994	28,6	35,8	29,9	53,4
1995	29,3	35,8	30,7	54,9
1996	27,9	28,3	37,0	55,1
1997	25,9	32,1	34,8	53,9
1998	25,2	25,7	36,8	56,1
1999	28,8	33,1	29,4	53,6
2000	28,4	36,4	33,8	54,9
2001	26,6	32,8	37,3	56,9
2002	26,7	34,5	29,5	54,5
2003	27,3	22,4	34,2	53,5
2004	26,2	37,0	33,8	54,6
2005	25,8	38,3	32,5	53,7
2006	26,9	33,0	32,5	48,8
2007	24,4	27,5	29,3	51,9
2008	27,1	31,3	32,0	55,3
2009	27,4	35,6	39,9	55,0
2010	27,4	31,5	38,7	55,7
2015	25,6	24,8	31,7	55,5
2025	25,3	23,4	29,9	55,7
2035	24,4	22,2	28,2	55,2
Médio	26,5	31,7	33,6	54,2
Máximo	31,2	40,2	39,9	57,1
Mínimo	20,1	22,2	28,2	44,5

A variação temporal do IMA para o período 1980-2035, considerando o impacto na produtividade do eucalipto em função do aumento de temperatura e da variação de chuva, foi determinada pelo Modelo HadGem2-ES, nos períodos 1981-2010, 2011-2020, 2021-2030 e 2031-2040, para solos tipo 2 (Figura 14).

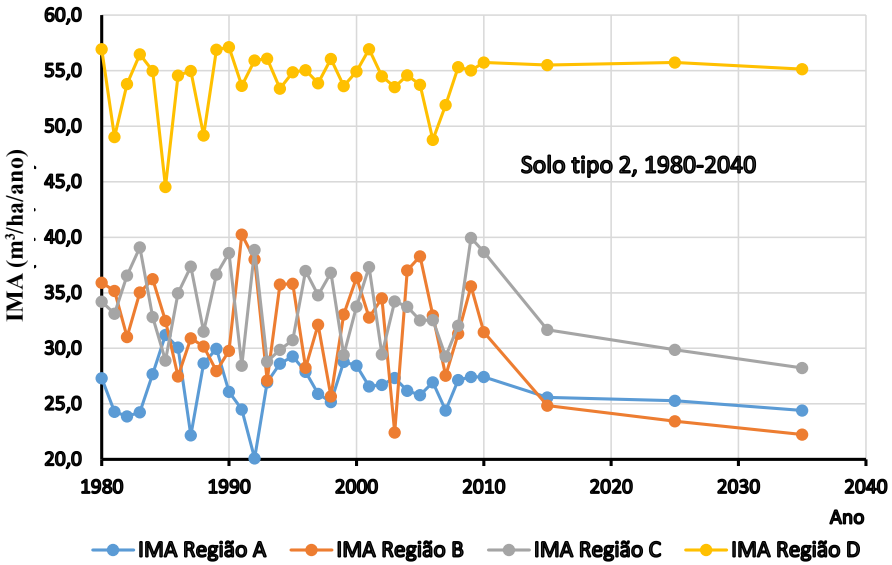


Figura 14. Variação temporal dos IMAs ajustados, considerando o impacto do aumento de temperatura e da variação de chuva pelo Modelo HadGem2-ES, na produtividade do eucalipto, nos períodos 1981-2010, 2011-2020, 2021-2030 e 2031-2040, para solos tipo 2 (textura média).

Analisando os dados da Figura 14, observa-se um decréscimo do IMA (Incremento Médio Anual) até o ano 2014, exceto na região D. O fato é que se a temperatura aumentar, haverá um aumento na evapotranspiração da cultura, que provocará uma redução do ISNA e, consequentemente, reduzirá o potencial de crescimento, indicado pelo IMA.

A partir dos dados de IMA e incremento corrente anual (ICA) e de produção comercial cedidos pela empresa Klabin foi possível construir as curvas de crescimento e as relações com o ISNA em um município específico.

Na Figura 15, observa-se que o máximo ICA ocorre entre as idades de 2,5 e 4,5 anos, dependendo do genótipo avaliado. Alguns clones apresentam pico de crescimento mais precocemente, enquanto outros mais tardiamente.

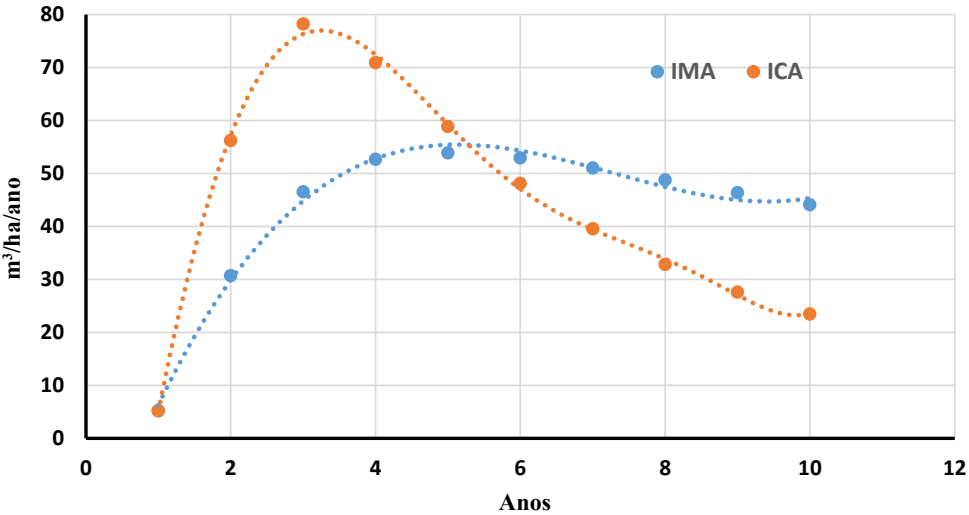


Figura 15. Curvas ajustadas de incremento corrente anual (ICA) e Incremento médio anual (IMA) de dois genótipos de eucalipto, no período de 2005 a 2015.

A partir de parâmetros meteorológicos e de dados de campo disponibilizados pela empresa Klabin, foi possível calcular o IMA e o ISNA para os sete primeiros anos da cultura do eucalipto estabelecido em um município com elevada produção comercial (Tabela 7).

Tabela 7. Variação de IMA e ISNA, após ajuste de curvas, nos primeiros sete anos de cultura de eucalipto.

Ano	IMA (m³/ha/ano)	ISNA
1º	5	0,13
2º	31	0,30
3º	47	0,38
4º	53	0,52
5º	54	0,73
6º	53	0,73
7º	51	0,69

Calculado o ISNA para este período, foi ajustada a curva de crescimento em função do ISNA, ou seja, dado um determinado ISNA, qual o valor de IMA estimado pelo modelo. O cálculo para determinação do ICA máximo foi até o sétimo ano, considerado como o principal ano de corte. A relação entre o ISNA e o IMA é apresentada na Figura 16, na qual se observa que o ISNA explica 93% da variância do IMA, ou seja, uma boa relação entre IMA observado e ISNA estimado.

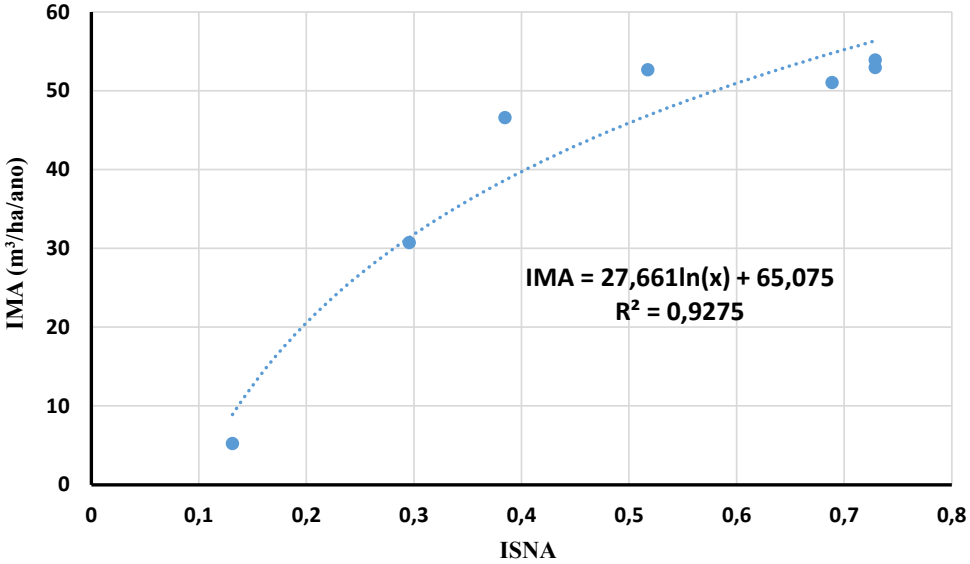


Figura 16. Valor de IMA ajustado em função do ISNA , para o período 2005 a 2015.

Distribuição espacial de áreas vulneráveis à redução da produtividade do eucalipto no Brasil

Na Figura 17, é apresentada a variação da deficiência hídrica com evolução temporal de 1988-2015, 2005 a 2015, 2021 a 2030 e 2031 a 2040.

Dessa maneira, espera-se que as melhores condições de crescimento do eucalipto, nos próximos 20 anos, irão ocorrer nas regiões indicadas pela cor verde (Figura 17), condições intermediárias e marginais nas regiões indicadas em laranja. Para reverter essa situação e ampliar as áreas propícias para o cultivo do eucalipto, será necessário reduzir as emissões de gases de efeito estufa ou buscar clones mais tolerantes à deficiência hídrica.

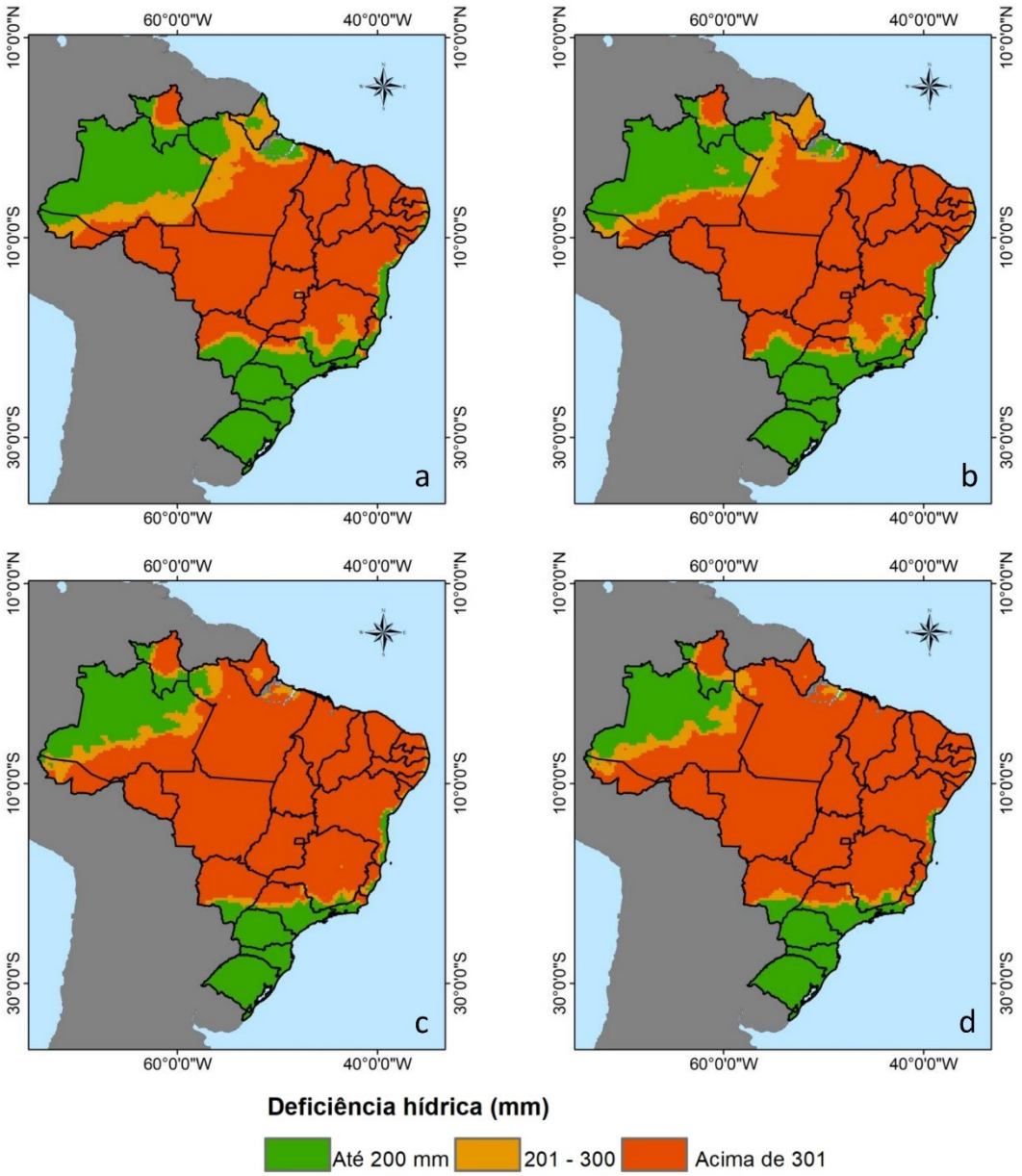


Figura 17. Mapa da deficiência hídrica, determinada pelo balanço hídrico climatológico, (método de Thornthwaite), para os períodos a) 1980-2015 b) 2005-2015 c) 2021-2030 d) 2031-2040.

Conclusões

- Os resultados dos modelos de simulação do Balanço hídrico futuro no Brasil indicam um aumento da deficiência hídrica na direção nordeste-sudoeste, com valores acima da deficiência limite para a cultura do eucalipto.
- Foi observada uma boa correlação entre as curvas de crescimento do IMA e do ISNA para o eucalipto, que permitem fazer inferências futuras sobre a produtividade da cultura, na condição de se ter uma série mínima de valores observados em campo.
- A região Sul do Brasil é a menos vulnerável para a cultura, mesmo utilizando o cenário mais pessimista de Aquecimento global, que é o RCP.8.5
- Sugere-se fortemente que tais simulações sejam refeitas com os modelos do CIMP6, para estarem compatíveis com o relatório AR6 do IPCC.

Agradecimentos

À empresa Klabin, pelo apoio e discussões técnicas que orientaram parte deste trabalho e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas - INCT-MC (CHAMADA INCT – MCTI/CNPq/CAPES/FAPs nº 16/2014); ao CNPq, Capes, Fapesp e à Rede Clima - Subrede Clima e Agricultura do MCTIC pelo apoio financeiro e tecnológico.

Referências

ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 179-195, 2004.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ALVES, M. E. B.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; NEVES, J. C. L. Estimate of the crop coefficient for *Eucalyptus* cultivated under irrigation during initial growth. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000200008.

BARTHOLOMEUS, R. P.; WITTE, J. P. M.; VAN BODEGOM, P. M.; VAN DAM, J. C.; AERTS, R. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: substituting the Feddes-function by a process-based model. **Journal of Hydrology**, v. 360, p. 147-165, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.029.

BESHARAT, S.; NAZEMI, A. H.; SADRADDINI, A. A. Parametric modeling of root length density and root water uptake in unsaturated soil. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 34, n. 5, p. 439-449, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais as mudanças do clima no Brasil**. Brasília, DF, 2016a. 590 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**: sumário executivo. Brasília, DF, 2016b. 45 p.

CAMARGO, A. P. de. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. 3. ed. São Paulo: Instituto Agronômico, 1971. 24 p. (IA. Boletim, 116).

CAUVIN, B.; POTTS, B. Selection for extreme frost resistance. In: SYMPOSIUM INTENSIVE FORESTRY THE ROLE OF EUCALYPTS, 1991, Durban. **Proceedings** [...]. Wien: IUFRO, 1991. p. 209-220. Disponível em: http://eprints.utas.edu.au/3343/1/Cauvin_and_Potts_1991_ IUFRO.pdf. Acesso em: 1º set. 2019.

CIAIS, P.; SABINE, C.; BALA, G.; BOPP, L.; BROVKIN, V.; CANADELL, J.; CHHABRA, A.; DEFRIES, R.; GALLOWAY, J.; HEIMANN, M.; JONES, C.; LE QUÉRÉ, C.; MYNENI, R. B.; PIAO, S.; THORNTON, P. Carbon and other biogeochemical cycles. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. -K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (ed.). **Climate change 2013**: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

COOK, J. **Guia cientifico do ceticismo quanto ao aquecimento global**. 2010. 16 p. Disponível em: https://skepticalscience.com/docs/Guide_Skepticism_Portuguese.pdf. Acesso em: 1º set. 2019.

COSTELLO, L. R.; MACDONALD, J. D.; JACOBS, K. A. Soil aeration and tree health: correlating soil oxygen measurements with the decline of established oaks. In: STANDIFORD, R. B. (coord.). **Proceedings of the symposium on oak woodlands and hardwood rangeland management, 1990**. Berkeley, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1991. p. 295-299. (General technical report, PSW-GTR-126).

CO1. **Daily CO2**. 2020. Disponível em: https://www.co2.earth/daily-co2. Acesso em: 2 set . 2019.

CRONIN, T. N. **Paleoclimates**: understanding climate change past and present. New York: Columbia University Press, 2010.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039.

DIBAX, R. **Transformação e expressão do gene PC5SF129-A em *Eucalytus saligna***. 2007. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; MINX, J. C.; FARAHANI, E.; KADNER, S.; SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN J.; SCHLÖMER, S.; STECHOW, C. von; ZWICKEL, T. (ed.). **AR5 climate change 2014**: mitigation of climate change. Cambridge: Cambridge University, 2014. Contribution of Working Group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf. Acesso em: 1° set. 2019.

FAGERIA, N. K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p. (Books in soils, plants and the environment).

FLORIANI, M. M. P.; STEFFENS, C. A.; CHAVES, D. M.; AMARANTE, C. V. T. do; PIKART, T. G.; RIBEIRO, M. dos S. Relação entre concentrações foliares de carboidratos solúveis totais e tolerância ao frio em diferentes espécies de *Eucalyptus* spp. **Ciência Floresta**l, v. 23, n. 1, p. 165-174, 2013. DOI: https://doi.org/10.5902/198050988450.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; SILVA, I. R. da; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. de A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1069-1079, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000500015.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, v. 60, p. 122-132, 2011. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x.

GONÇALVES, J. L. M. Escolha de materiais genéticos de eucalipto em função do uso e das condições edafoclimáticas. In: SIMPÓSIO SOBRE TÉCNICAS DE PLANTIO E MANEJO DE EUCALYPTUS PARA USOS MÚLTIPLOS, 8., 2014, Piracicaba. **Anais** [...]. Piracicaba: Esalq: USP, 2014.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; ORSINI, J. A. M.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (ed.). **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 25-74. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/150054/1/2008CL-38.pdf.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

HIGA, A. R.; GARCIA, C. H.; SANTOS, E. T. Geadas, prejuízos à atividade florestal. **Silvicultura**, v. 15, n. 58, p. 40-43, 1994.

HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. de. Efeitos de danos causados por geadas na sobrevivência e crescimento de *Eucalyptus viminalis* Labill. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém. **Resumos**.. Belém, PA: Faculdade de Ciências Agrarias do Pará, 1997. p. 263.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, n. 1-2, p. 137-157, 2000.

JONG VAN LIER, Q. de. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 233-238, 2001. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100025.

KERR, R. A. The tropics return to the climate systems. **Science**, v. 292, n. 5517, p. 660-661, 2001. DOI: https://doi.org/10.1126/science.292.5517.660.

MANZATTO, C. V.; ARAUJO, L. S.; VICENTE, L. E.; VICENTE, A. K.; PEROSA, B. B. Plataforma ABC: monitoramento da mitigação das emissões de carbono na agricultura. **Agroanalysis**, v. 38, p. 26-29, 2018.

MASCHIO, L. M. A.; ANDRADE, F. M.; AUER, C. G. Contribuição e fatores climáticos na ocorrência da seca de ponteiros de *Eucalyptus grandis* em Arapoti-PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 41, p. 55-63, 2000.

MONTEIRO, J. E. B. A.; CUADRA, S. V.; OLIVEIRA, A. F.; NAKAI, A. M.; MACIEL, R. J. S. Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 227-236, 2017.

MONTEIRO, J. E. B. A. (ed.) **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília. DF, 2009. 530 p.

MOREIRA, C. S. **Estoques de carbono do solo em áreas de reflorestamento**: bases para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. 2010. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Curso online da ONU sobre mudanças climáticas está disponível em português**. 2017. Disponível em: https://nacoesunidas.org/curso-online-da-onu-sobre-mudancas-climaticas-esta-disponivel-em-portugues/. Acesso em: 15 maio 2020.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

RAY, D. K.; GERBER, J. S.; MACDONALD, G. K.; WEST, P. C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. **Nature Communications**, v. 6, n. 5989, 2015. DOI: https://doi.org/10.1038/ncomms6989.

RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; BAESSO, R. C. E.; ALMEIDA, A. Q. de; OLIVEIRA, A. S. de; OLIVEIRA, R. A. de; HAMAKAWA, P. J.; SILVA, M. P. Eucalipto. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 409-423.

SACRAMENTO NETO, O. B. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente, MG**. 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SEEG Brasil. **Emissões por setor**: agropecuária. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria. Acesso em: 1º set. 2019.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **BHBRASIL**: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras. Piracicaba: ESALQ, 1999. 7 p.

SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; CARVALHO, S. P. C.; PICCOLO, M. C.; RODRIGEUZ, L. C. E. Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 135-146, 2015.

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; SÁ, I. I. S.; ZOLNIER, S.; TURCO, S. H. N.; JUSTINO, F.; CARMO, J. F. A. do; SOUZA, L. S. B. de. Impactos das mudanças climáticas na produção leiteira do estado de Pernambuco: análise para os cenários B2 e A2 do IPCC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 4, p. 489-501, 2009. DOI: https://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000400010.

SILVEIRA, S. S; SOUZA FILHO, F. A.; COSTA, A. A.; CABRALA, S. L. Avaliação de desempenho dos modelos do CIMIP5 quanto a representação dos padrões de variação de precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 317-330, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000300008.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Climatology, v. 8, n. 1).

UNITED NATIONS. Framework Convention on Climate Change. **UNFCCC**: 25 years of effort and achievement. [2019]. Disponível em: https://unfccc.int/timeline/. Acesso em: 15 maio 2020.

YU, G.; ZHUANG, J.; NAKAYAMA, K.; JIN, Y. Root water uptake and profile soil water as affected by vertical root distribution. **Plant Ecology**, v. 189, p. 15–30, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s11258-006-9163-y.

9

Contribuições das pesquisas com eucaliptos para a expansão de fronteiras das florestas plantadas brasileiras

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Alisson Moura Santos
Abílio Rodrigues Pacheco
Alessandra da Cunha Moraes-Rangel

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Com a lei de incentivos fiscais concedidos pelo Governo Federal em meados da década de 1960, deu-se início ao estabelecimento de plantios florestais em larga escala no Brasil (Brasil, 1966). A partir daí, configurou-se um cenário propício à implantação de grandes empreendimentos florestais, especialmente com espécies dos gêneros *Eucalyptus*, *Corymbia* e *Pinus*, sendo a área plantada com eucalipto tradicionalmente predominante. Alguns fatores que justificam o sucesso dos plantios de eucaliptos em território brasileiro são: boa adaptação das espécies plantadas sob diversas condições ambientais brasileiras; rápido crescimento, boa forma, elevada produtividade da madeira e ciclo de curta rotação quando comparados com outras espécies florestais; adequação da madeira a uma ampla variedade de usos e, também, desenvolvimento e difusão de cultivares e de técnicas silviculturais a pequenos, médios e grandes produtores. Esses aspectos culminaram com o estabelecimento de empreendimentos consumidores da madeira de eucalipto, altamente pujantes, tradicionalmente concentrados nas regiões Sudeste e Sul do País (IBÁ, 2018).

No decorrer dos anos, observa-se uma transição gradual do uso de madeira procedente de extrativismo para aquele originário de florestas plantadas no território brasileiro, com o propósito de suprir a demanda de carvão vegetal, de lenha e de madeira em tora para várias finalidades (Figura 1). Em ambos os casos, o cenário atual é bastante diferente daquele registrado no início da série histórica (1986), sendo que as florestas plantadas abasteceram 92% da produção de carvão vegetal, 72% da produção de lenha e 92% da madeira em tora, em 2017 (IBGE, 2017). O esgotamento de recursos florestais nativos em várias regiões brasileiras; as crescentes pressões ambientais pela preservação dos recursos nativos remanescentes e, também, a existência de maior fiscalização ambiental; a demanda constante por madeira, em quantidade e com qualidade e dentro de um raio econômico viável de distância de transporte entre fornecedores e consumidores ajudam a explicar a substituição da madeira de extrativismo pela oriunda de florestas plantadas.

A produção de carvão vegetal, obtida das florestas plantadas, em 2017, foi 4.917.633 t (92% do total), sendo 99% dessa quantidade suprida pela madeira de eucalipto (IBGE, 2017). No cenário mundial, o Brasil se destaca como o maior produtor de carvão vegetal de fonte renovável e, também, por seu uso como biorredutor nas indústrias siderúrgicas, para a produção de ferro-gusa e aço que consomem a maior parte do carvão vegetal produzido no território brasileiro. O carvão de eucalipto supre também outras demandas, tais como carvão vegetal para churrasco.

A produção de madeira em tora para a fabricação de celulose e papel no Brasil é, tradicionalmente, 100% originária de florestas plantadas de eucalipto e pinus (IBGE, 2017; IBÁ, 2018). Em 2017, a produção de madeira para essa finalidade atingiu 87.739.560 m^3, com a participação predominante do eucalipto, com 78,33% (IBGE, 2017).

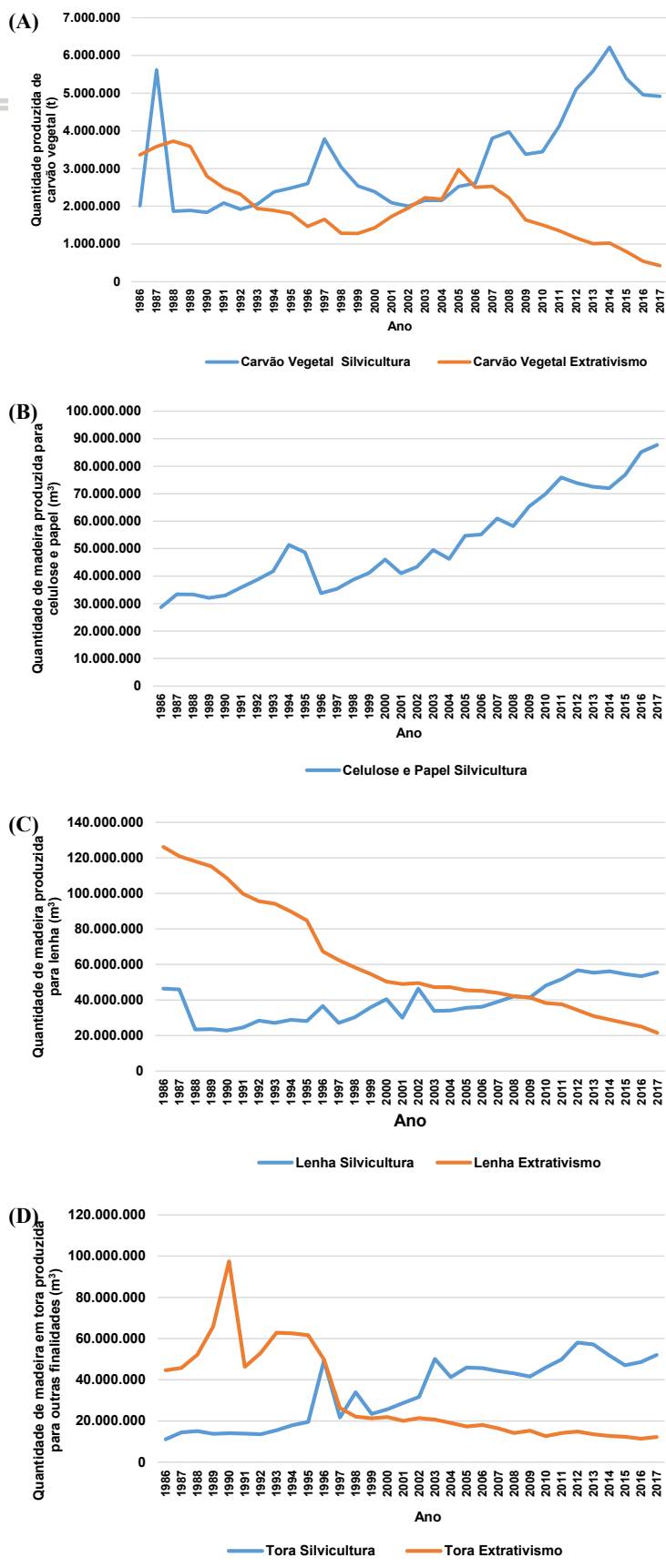


Figura 1. Séries históricas das quantidades de: (A) carvão vegetal (t), (B) madeira em tora para celulose e papel (m^3), (C) lenha (m^3) e (D) madeira em tora para outras finalidades (m^3), procedentes do extrativismo e de florestas plantadas, produzidas entre 1986 e 2017, no Brasil.

Fonte: IBGE (2017).

A produção de lenha originária de florestas plantadas foi igual a 55.524.110 m^3 (72% do total), sendo 85% de eucalipto em 2017 (IBGE, 2017). A lenha tem sido usada para diversas finalidades no País, tais como a cocção de alimentos e o aquecimento residencial, especialmente na região Sul; para geração de energia térmica na secagem de grãos; nos fornos de cerâmicas e de mineradoras; para geração de vapor d'água em caldeiras de esmagadoras de soja, frigoríficos, laticínios e indústrias de alimentos, termelétricas, vulcanização de pneus, dentre outras indústrias de transformação.

Já a produção de madeira em tora de florestas plantadas para diversas finalidades, exceto para celulose e papel, foi 52.086.951 m^3 (49,65% de eucalipto) e de extrativismo foi igual a 12.232.762 m^3 (IBGE, 2017). Essa produção atende às demandas de diversos pólos consumidores, tais como processamento mecânico da madeira (pranchas, tábuas, vigas, ripas, sarrafos, compensados, paletes, caixotaria, produtos de maior valor agregado, dentre outros), indústrias de painéis de madeira, usinas de preservação de madeira (casas de madeira, dormentes, estacas, mourões, pergolados, playgrounds, postes, dentre outros) e movelaria.

Nas séries históricas dos diferentes produtos da madeira, observa-se que há um incremento considerável na produção a partir de meados de 2000. Esse aumento pode ser justificado, em parte, pela expansão das atividades silvícolas, em especial com eucalipto, antes mais concentradas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, para áreas não tradicionais e que, em geral, já haviam sido anteriormente antropizadas em decorrência de outras atividades (IBÁ, 2018). Essa informação pode ser comprovada ao se observar as séries históricas de quantidade de madeira produzida pelas florestas plantadas, por diferentes segmentos, nas diferentes regiões brasileiras (IBGE, 2017) (Figura 2). Assim, observa-se ligeiro aumento na quantidade de carvão vegetal produzido na região Nordeste, elevação na quantidade de madeira em tora produzida para atender ao segmento de celulose e papel nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, além de decréscimo na região Sudeste. Constata-se também aumento na quantidade de madeira consumida como lenha, na região Centro-Oeste, e há uma tendência de elevação na quantidade de madeira em tora, usada para outras finalidades, como construção civil e rural, paletes, dentre outros usos, nas regiões Centro-Oeste e Norte, além de decréscimo na região Sudeste.

A expansão territorial da produção de madeira fica ainda mais evidente ao se observar os mapas de distribuição, em nível de municípios, da quantidade de madeira produzida pelas florestas plantadas brasileiras, por segmento, referentes aos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017 (Figuras 3, 4, 5 e 6). Essas expansões territoriais têm ocorrido de maneira mais significativa em alguns estados/municípios, em detrimento de outros. Nas novas fronteiras, observa-se, por exemplo, o pujante município de Três Lagoas, MS, atualmente considerado como a capital nacional da celulose (Figura 7). Para produção de lenha, destacam-se os municípios de Rio Verde, GO e Nova Maringá, MT.

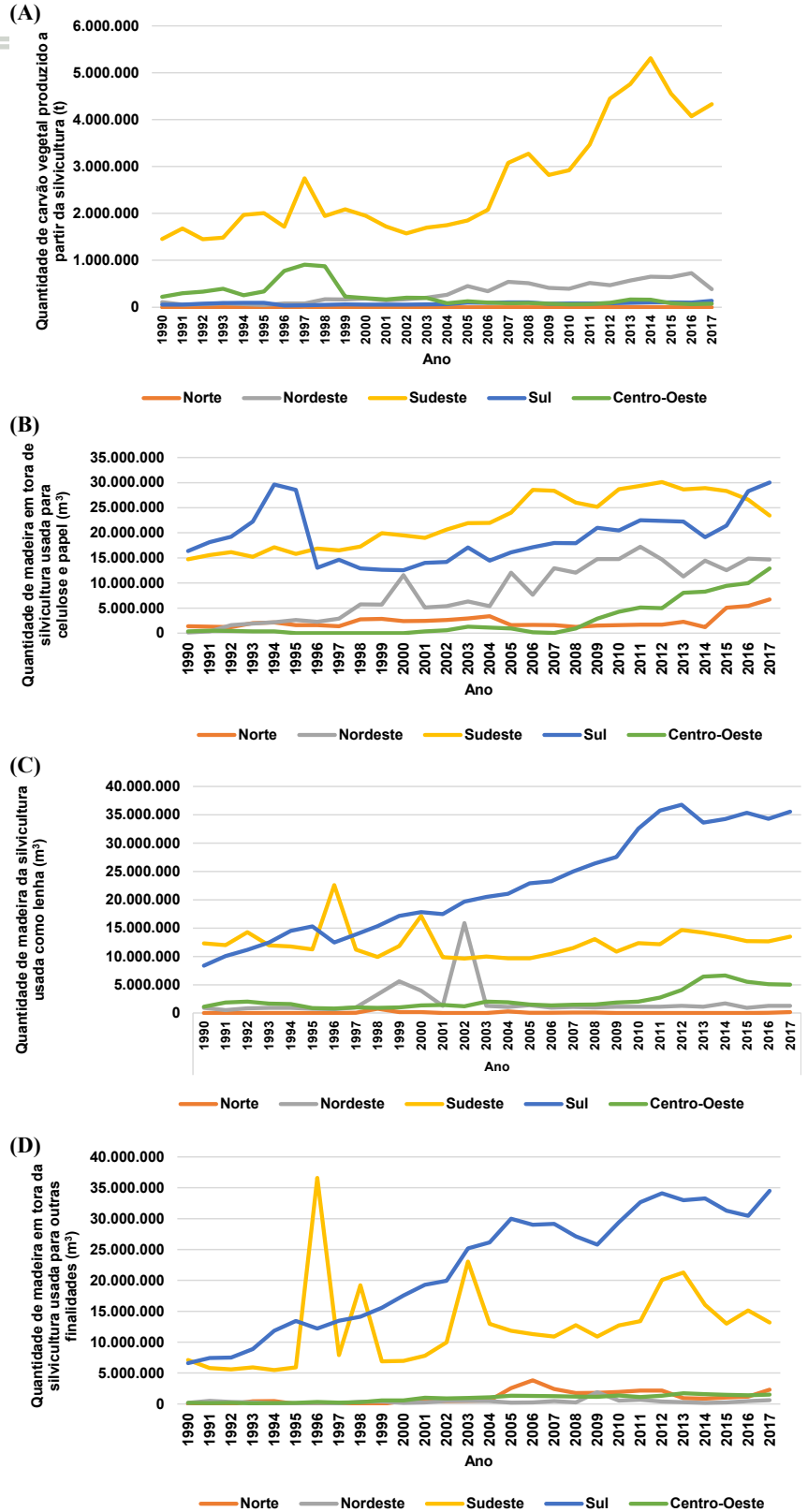
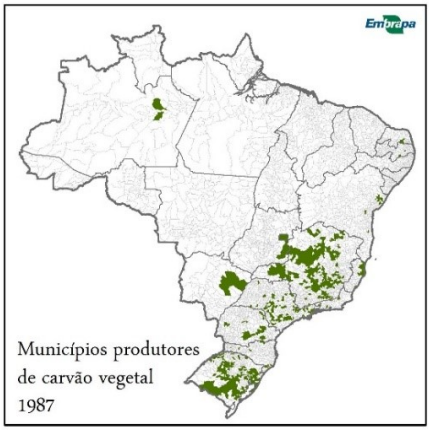
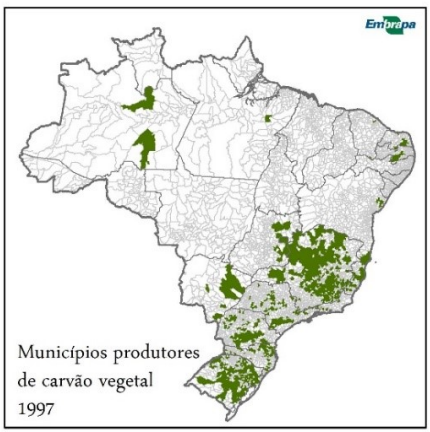
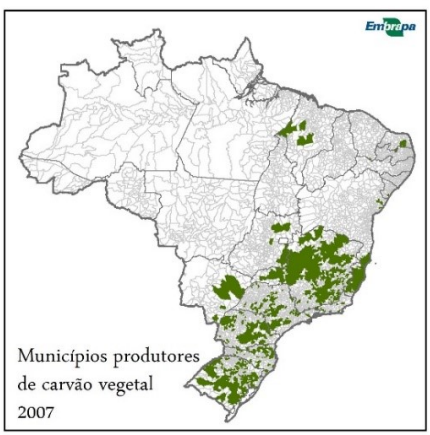


Figura 2. Séries históricas das quantidades de: (A) carvão vegetal (t), (B) madeira em tora para celulose e papel (m³), (C) lenha (m³) e (D) madeira em tora para outras finalidades (m³), procedentes de florestas plantadas, produzidas entre 1990 e 2017, nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste do Brasil.

Fonte: IBGE (2017).







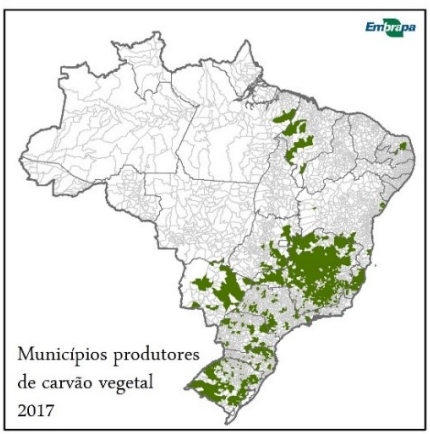
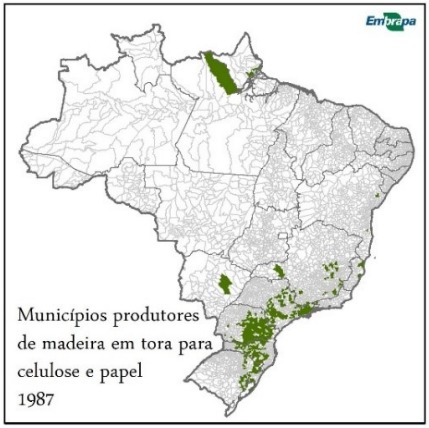
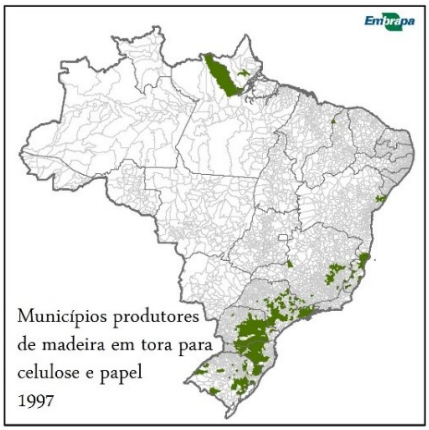


Figura 3. Expansão da produção de carvão vegetal, procedente de florestas plantadas, nos últimos 30 anos, em nível de municípios brasileiros.

Fonte: IBGE (2017).





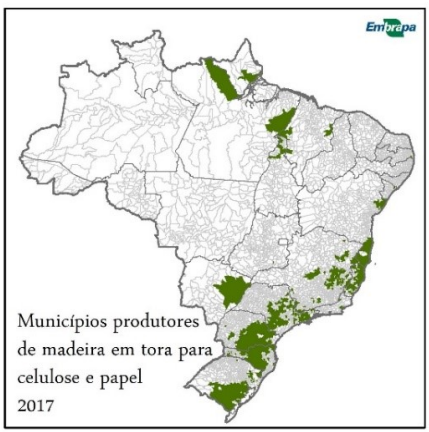
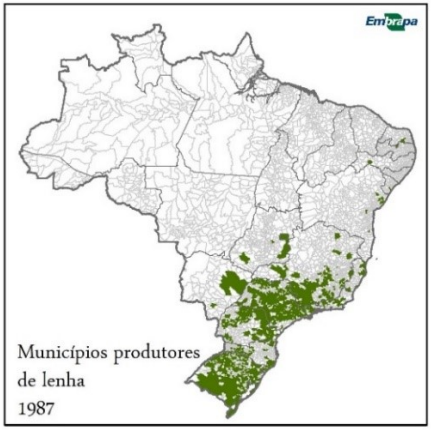
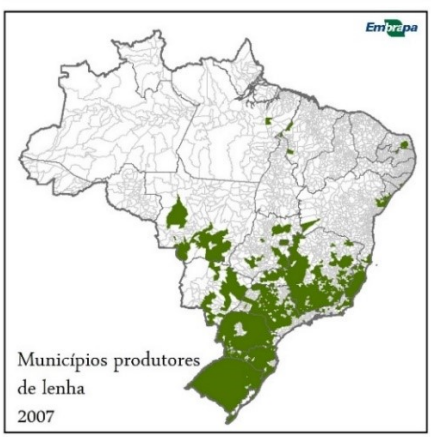


Figura 4. Expansão da produção de madeira para celulose e papel, procedente de florestas plantadas, nos últimos 30 anos, em nível de municípios brasileiros.

Fonte: IBGE (2017).





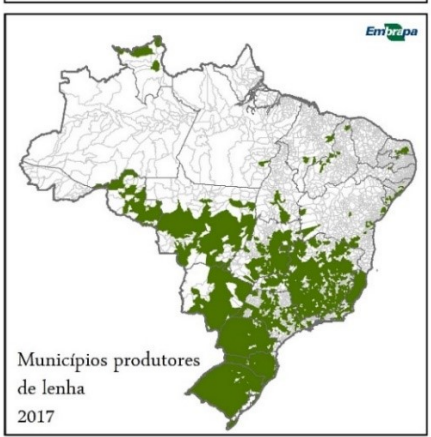
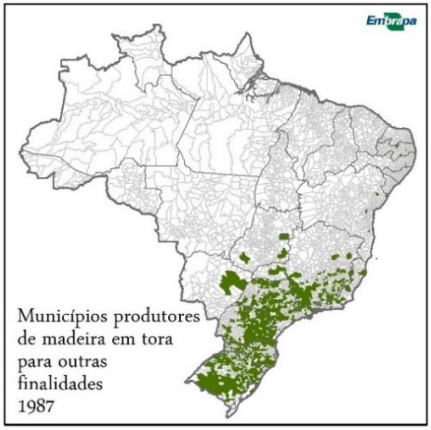


Figura 5. Expansão da produção de madeira utilizada como lenha (cavacos e toretes), procedente de florestas plantadas, nos últimos 30 anos, em nível de municípios brasileiros.
Fonte: IBGE (2017).



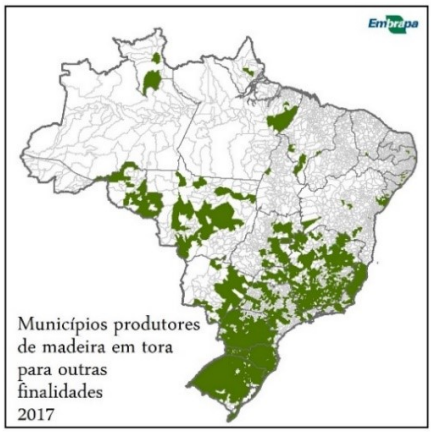
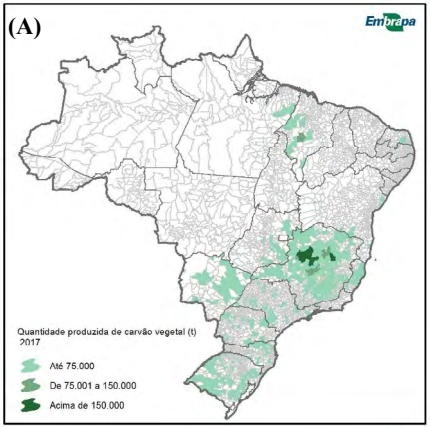
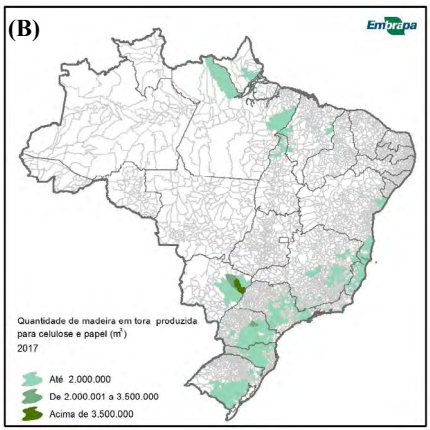
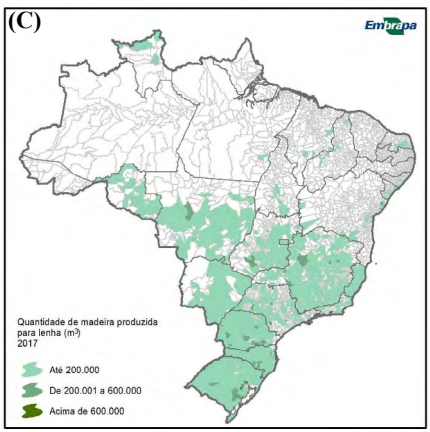


Figura 6. Expansão da produção de madeira para outras finalidades (exceto carvão vegetal, celulose e lenha) procedente de florestas plantadas, nos últimos 30 anos, em nível de municípios brasileiros.
Fonte: IBGE (2017).







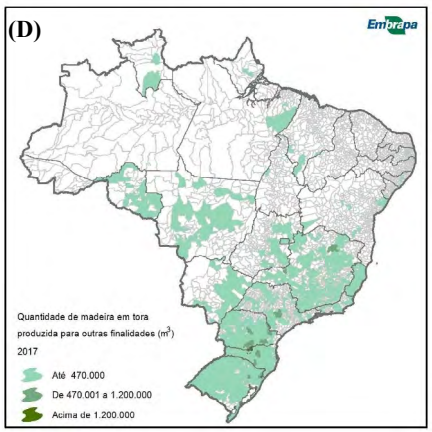


Figura 7. Espacialização da quantidade produzida de: (A) carvão vegetal (t) e de madeira para (B) celulose (m^3), (C) lenha (m^3) e (D) outras finalidades (m^3), procedente de florestas plantadas, em 2017, em nível de municípios brasileiros.

Fonte: IBGE (2017).

Foram usadas séries históricas do IBGE sem distinção de espécies plantadas, em decorrência da ausência de séries mais longas que contemplassem unicamente o eucalipto. Esse tipo de informação só passou a ser discriminado/divulgado pelo IBGE a partir de 2013. Entretanto, é amplamente reconhecido e divulgado que os plantios de eucalipto perfazem a maioria das áreas plantadas no decorrer dos anos, sendo acima de 75% das áreas de plantio e, também, da maior parte da quantidade produzida por produto (IBGE, 2017; IBÁ, 2018).

Em 2017, a cadeia produtiva brasileira de florestas plantadas, alicerçada em grande parte no eucalipto, foi responsável por um superávit de US$ 9 bilhões (15% superior aquele de 2016), por 6,1% do produto interno bruto industrial, pela geração de R$ 11,5 bilhões de tributos (0,9% da arrecadação nacional) e pela geração de 3,7 milhões de empregos diretos e indiretos (IBÁ, 2018).

Os principais aspectos que têm contribuído para a expansão dos cultivos de eucalipto para novas fronteiras territoriais são (Freitas, 2010; Bertone, 2011; Borlina Filho, 2011; Comério, 2011; Dias, 2011; Leite, 2011; Reis, 2011):

- Demandas crescentes por produtos florestais tanto em cenário nacional quanto internacional.
- Escassez e, também, elevado custo das terras disponíveis nas regiões tradicionais brasileiras (Sul e Sudeste) para florestas plantadas.
- Disponibilidade de grandes extensões de terras, já previamente antropizadas e com condições ambientais compatíveis tecnicamente e legalmente com os cultivos florestais (clima, solos e relevo).
- Menor custo da terra quando comparado com as regiões tradicionais de plantio de eucalipto.
- Receptividade de alguns governos locais por meio de incentivos fiscais.
- Estruturação mínima de logística para escoamento da produção.
- Substituição do pinus por eucalipto em áreas mais frias, no extremo sul do país (nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), a partir do desenvolvimento de variedades de eucaliptos mais tolerantes ao frio.
- Disponibilidade de mão de obra, embora nem sempre qualificada.
- Potencial de mecanização intensiva.
- Oportunidade de concessão de créditos de bancos de desenvolvimento.
- Oportunidade de recuperação de áreas degradadas/prestação de serviços ambientais.
- Oportunidade de ações de fomento e de diversificação da renda em muitas propriedades rurais.
- Aumento na geração de divisas ao país.
- Geração de emprego e renda, no campo e no município.

Ressalta-se que as informações acima são apresentadas de maneira generalista, podendo sofrer variações de uma localidade para outra.

Em geral, a maior valorização das terras em mercados florestais consolidados como São Paulo, Minas Gerais e Paraná transformou outras regiões não tradicionais, como os estados de Mato Grosso do Sul, do Maranhão e do Pará, nas novas fronteiras florestais, para o cultivo do eucalipto voltado à indústria. Em uma comparação entre os estados realizada em 2011, a diferença no preço da terra poderia encarecer em até R$ 700 milhões um projeto de implantação de uma fábrica de celulose, considerando a matéria-prima (eucalipto), os equipamentos e os transportes, segundo estimativas das empresas (Borlina Filho, 2011).

Por outro lado, também têm sido reconhecidos vários gargalos nas novas fronteiras, em diferentes graus, em vários aspectos como (Freitas, 2010; Bertone, 2011; Comério, 2011; Leite, 2011; Reis, 2011):

- Necessidade de treinamento da mão de obra para condução de atividades de campo e maquinários, de forma a torná-la qualificada.
- Carência na oferta e na manutenção especializada de equipamentos e máquinas florestais.
- Carência de insumos.
- Carência de infraestrutura (estradas, sistema de educação e de saúde das comunidades, acomodação para colaboradores).
- Dificuldades com regularizações fundiárias.
- Dificuldades nas regularizações e agilizações dos licenciamentos ambientais.
- Condições ambientais adversas de plantio, quando comparadas com as áreas tradicionais.
- Custos de implantação e manutenção de florestas com tendência de serem mais elevados do que a média das regiões tradicionais.
- Necessidade de valorização da pesquisa e do conhecimento científico (adaptação de materiais genéticos, maior compreensão da influência de fatores bióticos e abióticos, da nutrição florestal, dentre outros).
- Necessidade de elaboração e concretização de políticas públicas de incentivo à atividade florestal. No que se refere à legislação que trata da restrição de aquisição de terras brasileiras por estrangeiros, é importante que haja um consenso de forma a se conciliar os interesses do governo, ou seja, tanto aquele relativo à soberania nacional quanto ao que se refere ao desenvolvimento do setor produtivo.

Esses gargalos são apresentados também de forma generalista, podendo sofrer variações de uma localidade para outra.

No que tange à necessidade de valorização da pesquisa e do conhecimento científico e, também, à necessidade de elaboração e concretização de políticas públicas

de incentivo à atividade florestal, a seguir serão descritas ações estabelecidas pela Embrapa nas novas fronteiras florestais, aqui consideradas como as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, desde a década de 1970 até os dias atuais.

As pesquisas nas novas fronteiras florestais

Após a concessão dos incentivos fiscais em meados da década de 1960, foram também criados o extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) que conduziu o Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (Prodepef), por via do convênio firmado entre o Governo Federal Brasileiro e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (Brasil, 1966, 1967, 1973). A partir desse período começa a ser instalada no campo ampla rede experimental de espécies florestais, especialmente de *Eucalyptus* e *Pinus*. Vale lembrar que estudos prévios realizados por Edmundo Navarro de Andrade, dentre outros, já haviam demonstrado o potencial de crescimento e de produtividade de madeira desses gêneros, em algumas regiões, em relação a outros gêneros estudados, o que balizou as definições da rede experimental do Prodepef (Andrade, 1961; Embrapa, 1987; Ferreira; Santos, 1997).

Os resultados obtidos com essa rede experimental do Prodepef culminaram com a publicação do Zoneamento Ecológico Esquemático para Reflorestamento no Brasil (2ª Aproximação) (Golfari et al., 1978). Por meio desse zoneamento foi corroborado que o êxito do florestamento e/ou reflorestamento em uma determinada região depende da escolha de espécies/procedências de maior aptidão as suas condições ecológicas e que satisfaçam quantitativamente e qualitativamente às exigências do mercado consumidor dessa região (Golfari et al., 1978; Caser, 1980)

Entretanto, no resumo da referida publicação havia um alerta quanto à escassez de informações sobre o comportamento das espécies em determinadas áreas, como nas regiões Centro-Oeste e Norte do território brasileiro que, em parte, deixava dúvidas quanto à precisão nas divisões regionais, assim como a experimentação muito recente ou ainda inexistente, até então, em algumas áreas, o que dificultava a indicação de espécies e procedências (Golfari et al., 1978). Para as regiões Centro-Oeste e Centro-Leste, as escolhas das espécies e procedências foram baseadas em experimentos até então recentes, que necessitavam de observações mais prolongadas para uma correta definição e que, também, deveriam ser estendidas às áreas ainda não avaliadas. Nas regiões Nordeste e Norte, a base experimental era muito frágil (Golfari et al., 1978). Entretanto, é inegável a grande contribuição que esse trabalho inicial do Governo Federal prestou e ainda presta à sociedade brasileira e, também, aos investidores internacionais. Essa contribuição foi e ainda é tão significativa que recentemente o zoneamento conduzido por Golfari et al. (1978) foi aprimorado e atualizado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef) com o título

"*Eucalyptus* no Brasil – Zoneamento climático e guia para identificação" (Flores et al., 2016).

Com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) na década de 1970, a rede experimental implantada pelo Prodepef foi repassada do ex-IBDF à Embrapa. Posteriormente, em 1978, foi criada a Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (atual Embrapa Florestas), a qual assumiu a incumbência de coordenar o Programa Nacional de Pesquisas de Florestas, no âmbito do então denominado Ministério da Agricultura. Desde então, a rede experimental florestal brasileira tem sido constantemente ampliada, de forma a preencher lacunas de pesquisas, também sob a ação conjunta de várias instituições públicas e privadas, sendo o eucalipto o líder no *ranking* de pesquisas florestais no Brasil.

Assim como ocorreu nas áreas tradicionais de plantio do eucalipto, também nas novas frentes de expansão das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte do Brasil, a Embrapa tem-se dedicado às pesquisas com os gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*. Neste contexto, a seguir é realizada uma tentativa de sumarizar os trabalhos com eucalipto realizados pela Embrapa nas novas fronteiras territoriais, no decorrer dos anos, com foco nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte do Brasil. É importante ressaltar que as pesquisas florestais realizadas nessas regiões são frutos do engajamento de várias unidades da Embrapa (Acre, Agroindústria Tropical, Agropecuária Oeste, Agrossilvipastoril, Amapá, Amazônia Ocidental, Amazônia Oriental, Recursos Genéticos e Biotecnologia, Cerrados, Cocais, Florestas, Gado de Corte, Mandioca e Fruticultura, Meio Norte, Pesca e Aquicultura, Rondônia e Roraima, Semiárido e Tabuleiros Costeiros) e que, como sempre, contam com a parceria significativa de várias instituições públicas e privadas, além de produtores rurais, cujo apoio é sempre imprescindível para a consolidação das pesquisas.

A rede experimental com eucalipto implantada pela Embrapa, ao longo dos anos, nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte contempla aproximadamente 262 experimentos de campo, com abordagem de diferentes temas, distribuídos em 82 municípios. Essa rede envolve grande número de materiais genéticos e de condições ambientais (altitude, latitude, longitude, clima, temperatura média anual (mínima, média e máxima), estimativa e distribuição da precipitação pluviométrica média anual, relevos, solos, biomas, tipologias vegetacionais, presença ou ausência de estresses bióticos e abióticos, dentre outros). Em geral, na grande maioria dos sítios avaliados, o eucalipto demonstrou desempenho satisfatório, ainda que somente em nível de espécie/procedência/progênie e/ou árvore/clone, o que denota a adaptação de materiais genéticos à vasta gama de condições ambientais, desde que a implantação e a condução do plantio sejam realizadas de forma adequada.

É notório frisar que as pesquisas realizadas extrapolam o número de experimentos instalados em campo, já que muitas delas são conduzidas em caráter multidisciplinar em um mesmo experimento, como exemplo nos sistemas de integração lavoura,

pecuária e floresta. Além do mais, existem pesquisas que são conduzidas em laboratórios, como exemplo, na identificação de doenças e insetos-pragas, via simulações computacionais, dentre outras. As pesquisas conduzidas nas novas fronteiras resultaram, até o momento, em aproximadamente 312 trabalhos técnicos-científicos publicados, listados nas referências bibliográficas deste capítulo. A maior parte dessas publicações são disponibilizadas em versão online gratuita com respectivos links inseridos no referencial bibliográfico deste capítulo.

A seguir, como forma de facilitar a compreensão e a distribuição espacial da rede experimental, as informações são apresentadas em nível das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte.

Rede experimental com eucalipto na região Centro-Oeste

A região Centro-Oeste abrange três estados – Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e, também, o Distrito Federal, sendo a segunda maior região brasileira em superfície territorial. Como ocorre em quase todo o território nacional, o relevo é suave e, raramente, atinge altitudes acima de 1.000 m. É composta pelo Planalto Central, Planalto Meridional e pela Planície do Pantanal. A maior parte da região é ocupada pelo Bioma Cerrado e o clima é classificado predominantemente como Tropical, com inverno seco.

Conforme mencionado anteriormente, a região Centro-Oeste tem sido alvo de grande expansão de cultivos de eucaliptos, em áreas previamente antropizadas e condizentes com as exigências técnicas e legais de plantio, para atender aos quatros principais segmentos demandantes de madeira (carvão vegetal, celulose e papel, lenha e madeira para outras finalidades) (IBGE, 2017). Os maiores plantios de eucalipto nessa região estão localizados nos municípios de Três Lagoas, MS (245.000 ha), Ribas do Rio Pardo, MS (210.000 ha), Água Clara, MS (126.000 ha), Brasilândia, MS (120.000 ha) e Selvíria, MS (110.000 ha) (IBGE, 2017), sendo essa região sul mato-grossense reconhecida na atualidade como grande produtora de madeira para abastecimento de indústrias de celulose e papel sediadas em Três Lagoas.

A rede experimental com eucalipto da Embrapa implantada na região Centro-Oeste é composta por aproximadamente 137 experimentos, com abrangência de 31 municípios nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e, também, Distrito Federal (Figura 8, Tabelas 1 e 2). Nos locais experimentais, as altitudes médias variam de 269 m a 1.236 m, em três tipos climáticos - Aw, Cwb e Cfa, com estimativas de temperatura média anual variando entre 20,1 °C e 26,2 °C e com estimativas de precipitação pluviométrica média anual entre 1.241 mm e 2.117 mm.

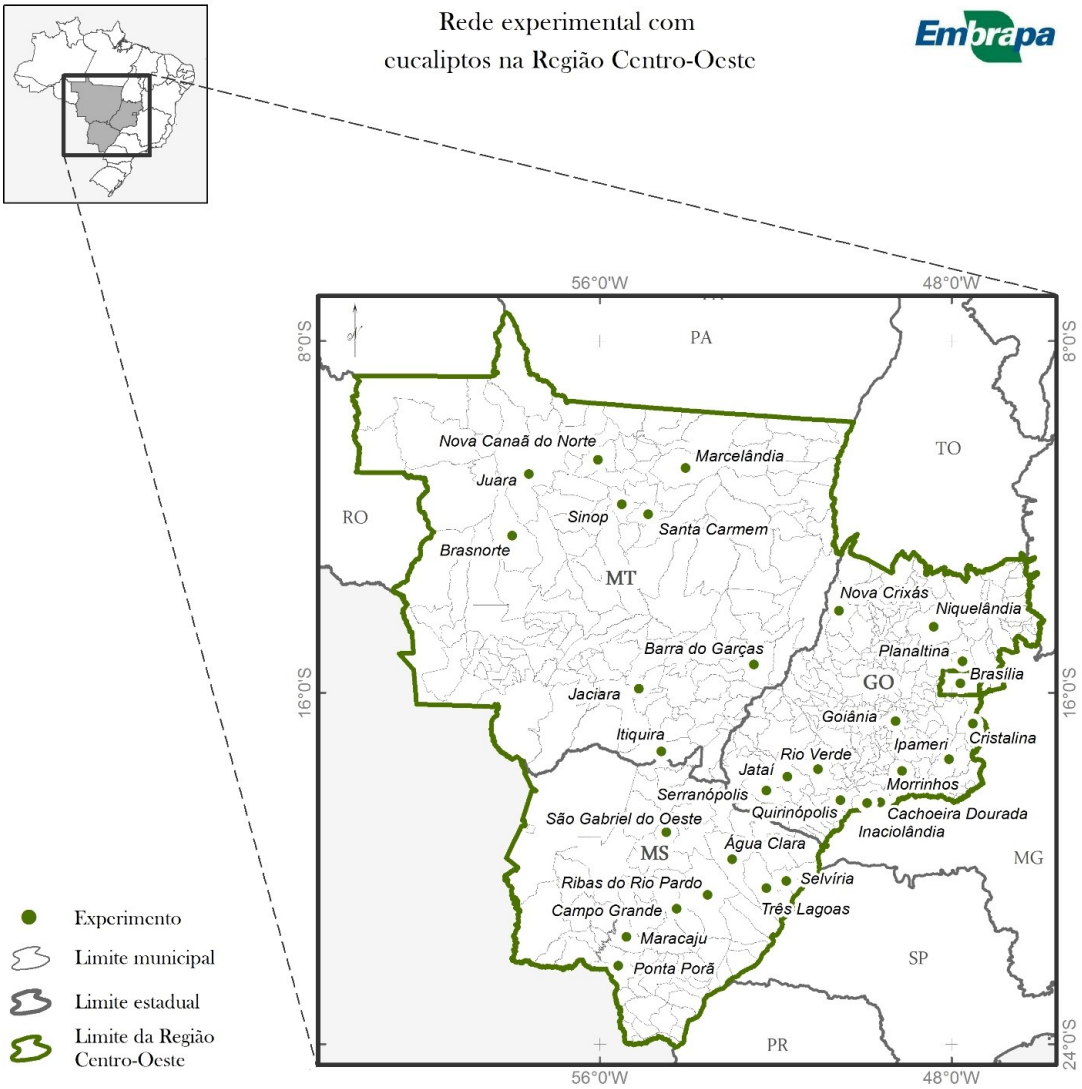


Figura 8. Municípios contemplados na rede experimental com eucalipto, conduzida pela Embrapa e parceiros, entre 1972 e 2019, na região Centro-Oeste.

Tabela 1. Características ambientais dos municípios com experimentação de eucaliptos, conduzida pela Embrapa e parceiros, na região Centro-Oeste.

	Município/Estado	Altitude média (m)	Clima	Temperatura média anual (°C)	Precipitação pluviométrica média anual (mm)
1	Brasília, DF	1.087	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	21,10	1.668
2	Planaltina, DF	984	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	21,70	1.433
3	Cachoeira Dourada, GO	434	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,80	1.229
4	Cristalina, GO	1.236	Clima Subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno (Cwb)	20,10	1.422
5	Goiânia, GO	764	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,10	1.414
6	Inaciolândia, GO	451	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,80	1.427
7	Ipameri, GO	767	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,90	1.437
8	Jataí, GO	732	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,30	1.541
9	Morrinhos, GO	753	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,30	1.346
10	Niquelândia, GO	592	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,60	1.713
11	Nova Crixás, GO	297	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,20	1.510
12	Quirinópolis, GO	521	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,40	1.520
13	Rio Verde, GO	737	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,30	1.663
14	Serranópolis, GO	718	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,30	1.579
15	Água Clara, MS	325	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,40	1.370
16	Campo Grande, MS	529	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,40	1.449
17	Maracaju, MS	381	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,40	1.401
18	Ponta Porã, MS	645	Clima Subtropical, com verão quente (Cfa)	21,30	1.352

Continua...

Tabela 1. Continuação...

	Município/Estado	Altitude média (m)	Clima	Temperatura média anual (°C)	Precipitação pluviométrica média anual (mm)
19	Ribas do Rio Pardo, MS	389	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,10	1.425
20	São Grabriel do Oeste, MS	626	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,30	1.507
21	Selvíria, MS	360	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,70	1.352
22	Três Lagoas, MS	324	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,20	1.241
23	Barra do Garças, MT	316	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,60	1.585
24	Brasnorte, MT	311	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,70	1.952
25	Itiquira, MT	511	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,70	1.559
26	Jaciara, MT	403	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,00	1.626
27	Juara, MT	269	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,10	1.961
28	Marcelândia, MT	322	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,10	2.117
29	Nova Canaã do Norte, MT	325	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,20	2.001
30	Santa Carmem, MT	365	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,00	1.873
31	Sinop, MT	372	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,00	1.818

Fonte: Climate-Data.Org (2019).

Tabela 2. Descrições dos experimentos implantados pela Embrapa e parceiros na região Centro-Oeste.

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Área de produção de sementes de *C. citriodora* I	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *C. citriodora* II	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. cloeziana* I	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. cloeziana* II	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. camaldulensis* I	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. camaldulensis* II	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. camaldulensis* II	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. camaldulensis* III	-	3 x 2	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. tereticornis* I	-	-	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. tereticornis* II	-	-	-	-	Brasília, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Avaliação silvicultural de clones	-	3,5 x 1,7	-	-	Brasília, DF	Passos et al. (2014), Ribeiro et al. (2014, 2015, 2018), Oliveira et al. (2015a, 2015b)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Ensaio básico de comportamento com espécies e procedências de *Eucalyptus* III	Blocos casualizados	-	2	25	Brasília, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio básico de comportamento com espécies e procedências de *Eucalyptus* III	Blocos casualizados	-	2	25	Brasília, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Lotação ideal em povoamentos de *E. grandis* para produção de biomassa	Blocos casualizados	-	-	-	Brasília, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Lotação ideal em povoamentos de *E. grandis* para produção de biomassa	Blocos casualizados	-	-	-	Brasília, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. camaldulensis* 6.953	-	3 x 2	-	-	Planaltina, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. cloeziana* 9.785	-	3 x 2	-	-	Planaltina, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. grandis* 9.785	-	3 x 2	-	-	Planaltina, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. tereticornis* 8140	-	3 x 2	-	-	Planaltina, DF	Caser et al. (1987), Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. urophylla* 8.140	-	-	-	-	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. urophylla* A 9.008	-	-	-	-	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Área de produção de sementes de *E. urophylla* Aracruz	-	-	-	-	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Área de produção de sementes de *E. urophylla* B 1200	-	-	-	-	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Avaliação da influência de sistemas de cultivo intercalares no crescimento de *E. grandis*	Blocos casualizados	-	4	48	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
E. grandis para produção de biomassa na Região dos Cerrados	Blocos casualizados	-	4		Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
E. urophylla para produção de biomassa na Região dos Cerrados	Blocos casualizados	-	4		Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de competição de procedências de *E. brassiana*	Blocos casualizados	3 x 2	4	25	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2003a), Moura et al. 1995a)
Ensaio de competição de procedências de *E. camaldulensis* I	Blocos casualizados	3 x 2	4	49	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Melo e Resck (2003a, 2006), Melo et al. (2004), Moura (2001)
Ensaio de competição de procedências de *E. camaldulensis* II	Blocos casualizados	-	4	25	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de competição de procedências de *E. cloeziana*	Blocos casualizados	3 x 2	4	49	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Melo et al. (2005), Melo e Resck (2003b), Moura et al. (1993, 2003b), Moura (2003b).
Ensaio de competição de procedências de *E. grandis*	Blocos casualizados	3 x 3	4	49	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura et al. (1992, 1995b, 1996a, 1997a, 1997b), Vale et al. (1995, 1997)
Ensaio de competição de procedências de *E. pilularis*	Blocos casualizados	-	4	49	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (1990), Moura et al. (1996b)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Ensaio de competição de procedências de *E. tereticornis*	Blocos casualizados	-	4	49	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Influência do espaçamento na produção de biomassa em *E. camaldulensis*	Blocos casualizados	-	4	-	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Influência do espaçamento na produção de biomassa em *E. grandis*	Blocos casualizados	-	4		Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001)
Teste de procedência de *E. urophylla*	Blocos incompletos	-	3	10	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001, 2004)
Teste de procedência de *E. urophylla* S. T. Blake Flores	Blocos incompletos	-	3	10	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001, 2004)
Teste de procedência de *E. urophylla* S. T. Blake Timor	Blocos incompletos	-	3	10	Planaltina, DF	Embrapa (1987), Moura (2001, 2004)
Teste de *E. ptychocarpa* (ornamental)	-	-	-	-	Planaltina, DF	Moura et al. (2000)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Planaltina, DF	Silva et al. (2014)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com eucalipto e nativas	&	-	-	-	Planaltina, DF	Moraes Neto et al. (2010, 2012, 2014a, 2014b), Pulrolnik et al. (2010)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Cachoeira Dourada, GO	Pacheco et al. (2013, 2016), Coelho Júnior et al. (2016), Nicoli et al. (2017), Wruck et al. (2015a, 2015b)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Ensaio básico de comportamento com espécies e procedências de *Eucalyptus* III	Blocos casualizados	-	2	25	Cristalina, GO	Embrapa (1987)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Inaciolândia, GO	Dados a serem publicados.
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Ipameri, GO	Ramos et al. (2019)
E. camaldulensis consorciado com *Brachiaria decumbens*	Parcela subdividida	-	3	80	Ipameri, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)
E. camaldulensis consorciado com mandioca na região dos Cerrados	Blocos casualizados	-	4	36	Ipameri, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de competição de procedências de *E. brassiana*	Blocos casualizados	-	4	25	Jataí, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de competição de procedências de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados	-	4	25	Jataí, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)
Teste de progênies intercaladas de *E. grandis* e *E. urophylla*	-	-	-	-	Goiânia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Teste de comportamento silvicultural de *E. cloeziana*	-	-	-	-	Goiânia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Teste de comportamento silvicultural de *C. maculata*	-	-	-	-	Goiânia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	Blocos casualizados	4 x 10	7	5	Morrinhos, GO	Dados a serem publicados.
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	-	-	-	-	Nova Crixás, GO	Pacheco et al. (2017)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Testes de clones	-	-	-	-	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2013)
Teste de comportamento silvicultural de *C. maculata*	-		-	-	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011), Paludzyszyn Filho et al. (2013)
Teste de comportamento silvicultural de *E. cloeziana*	-	-	-	-	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011), Paludzyszyn Filho et al. (2013)
Teste de progênies de *E. crebra*	Blocos casualizados	3 x 2	36	1	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2013), Reis et al. (2014b)
Teste de progênies de *E. urophylla* x *E. grandis* procedentes de Goiânia I	-	3 x 2	-	-	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011), Paludzyszyn Filho et al. (2013)
Teste de progênies de *E. urophylla* x *E. grandis* procedentes de Goiânia II	-	3 x 2	-	-	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011), Paludzyszyn Filho et al. (2013)
Teste de progênies de *E. pellita* II	Blocos casualizados	3 x 3	40	1	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011), Paludzyszyn Filho et al. (2013)
Teste de progênies de *E. pellita* III	Blocos casualizados	3 x 3	40	1	Niquelândia, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011), Paludzyszyn Filho et al. (2013)
Sistemas de integração pecuária--floresta	&	-	-	-	Quirinópolis, GO	Pacheco et al. (2019)
Teste de clones multiespécies de *Eucalyptus* I	Blocos casualizados	3 x 2	20	1	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2014)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste de clones multiespécies de *Eucalyptus* II	Blocos casualizados	3 x 2	20	1	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2014)
Teste de clones multiespécies de *Eucalyptus* III	Blocos casualizados	3 x 2	20	1	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2014)
Testes de clones	-	-	-	-	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2014)
Teste de progênies de *E. grandis* x *E. urophylla* procedentes de Campo Grande, MS	-	-	-	-	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2014)
Teste de progênies de *E. grandis* x *E. urophylla* procedentes de Campo Grande, MS	-	-	-	-	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Teste de progênies de *E. pellita* I	Blocos casualizados	3 x 3	40	1	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2011)
Teste de progênies multiespécies de *Eucalyptus* procedentes de Açailândia, MA	-	-	-		Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Teste de comportamento silvicultural de *C. maculata*	-	-	-	-	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2011)
Teste de comportamento silvicultural de *C. citriodora* intercalado com *C. torelliana*	-	-	-	-	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Teste de comportamento silvicultural de *E. cloeziana*	-	-	-	-	Rio Verde, GO	Paludzyszyn Filho et al. (2011)
Ensaio de competição de procedências de *E. tereticornis*	Blocos casualizados	-	4	49	Serranópolis, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Ensaio de competição de procedências de *E. tereticornis*	Blocos casualizados	-	4	49	Serranópolis, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de comportamento de espécies e procedências de *E. cloeziana*	Blocos casualizados	-	5	49	Serranópolis, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de comportamento de espécies e procedências de *E. grandis*	Blocos casualizados	-	5	49	Serranópolis, GO	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio básico de comportamento com espécies e procedências de *Eucalyptus* III	Blocos casualizados	3 x 2	2	25	Água Clara, MS	Embrapa (1987), Moura e Costa (1985), Moura (2001)
Teste de clones de eucaliptos	Blocos casualizados	3 x 2	7	48	Água Clara, MS	Dados a serem publicados
Sistemas de integração pecuária--floresta	&	-	-	-	Água Clara, MS	Dados a serem publicados
Teste de progênies intercaladas de *E. grandis* e *E. urophylla*	-	-	-	-	Campo Grande, MS	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Teste de clones de eucaliptos	Blocos casualizados	3 x 2	7	48	Campo Grande, MS	Ferreira et al. (2015a)
Sistemas de integração pecuária--floresta	Roda de Nelder &	-	-	-	Campo Grande, MS	Dados a serem publicados
Sistemas de integração pecuária--floresta	&	-	-	-	Campo Grande, MS	Melotto e Laura (2009)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Campo Grande, MS	Hubner et al. (2017), Gamarra et al. (2017)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Campo Grande, MS	Ferreira et al. (2016b, 2017)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste de clones de eucaliptos	Blocos casualizados	3 x 2	7	48	Maracaju, MS	Dados a serem publicados
Efeito da aplicação de fertilizante orgânico em *E. urophylla* x *E. grandis*	-	3 x 1,5	-	-	Ponta Porã, MS	Nunes et al. (2012)
Sistema de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Ponta Porã, MS	Alves et al. (2013)
Teste clonal multiespécies de *Eucalyptus* spp. I	Blocos casualizados	3 x 3	4	16	Ponta Porã, MS	Paludzyszyn Filho e Santos (2011)
Teste clonal multiespécies de *Eucalyptus* spp. II	Blocos casualizados	3 x 3	4	25	Ponta Porã, MS	Reis et al. (2014a)
Teste clonal multiespécies de *Eucalyptus* spp. III	Blocos casualizados	3 x 3	3	25	Ponta Porã, MS	Reis et al. (2014a)
Teste de adubação de *E. cloeziana*	-	-	-	-	Ponta Porã, MS	Dados a serem publicados
Teste de espaçamento de *E. cloeziana*	-	-	-	-	Ponta Porã, MS	Dados a serem publicados
Teste de adubação de *E. urophylla*	-	-	-	-	Ponta Porã, MS	Dados a serem publicados
Teste de espaçamento de *E. urophylla*	-	-	-	-	Ponta Porã, MS	Dados a serem publicados
Teste de espaçamento de *E. urophylla*	-	-	-	-	Ponta Porã, MS	Dados a serem publicados
Teste de comportamento silvicultural de *C. maculata*	Arboreto	-	-	-	Ponta Porã, MS	Dados a serem publicados
Teste de progênies de *E. pellita* IV	Blocos casualizados	3 x 3	40	1	Ponta Porã, MS	Dados a serem publicados

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Ensaio básico de comportamento com espécies e procedências de *Eucalyptus* III	Fatorial	3 x 2	2	25	Ribas do Rio Pardo, MS	Embrapa (1987), Moura e Costa (1985), Moura (2001)
População base de *E. camaldulensis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Ribas do Rio Pardo, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
População base de *E. camaldulensis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Ribas do Rio Pardo, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
População base de *E. camaldulensis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Ribas do Rio Pardo, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
População base de *E. grandis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Ribas do Rio Pardo, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
População base de *E. saligna* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Ribas do Rio Pardo, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
População base de *E. tereticornis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Ribas do Rio Pardo, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
Sistemas de integração pecuária--floresta	&	-	-	-	Ribas do Rio Pardo, MS	Corrêa et al. (2015)
Teste de clones de eucaliptos	Blocos casualizados	3 x 2	7	48	Ribas do Rio Pardo, MS	Ferreira et al. (2015a)
Teste de clones de eucaliptos	Blocos casualizados	3 x 2	7	48	São Gabriel do Oeste, MS	Ferreira et al. (2015a)
População base de *E. camaldulensis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Selvíria, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
População base de *C. maculata* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
População base de *C. maculata* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
População base de *E. cloeziana* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Moura (2001)
População base de *E. pilularis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Moura (2001)
População base de *E. pilularis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Moura (2001)
População base de *E. saligna* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Moura (2001)
População base de *E. tereticornis* para conservação genética	Blocos famílias compactadas	4 x 4	100	1	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
Teste combinado de procedências e progênies de *C. maculata*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. camaldulensis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Moura (2001)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. cloeziana*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. tereticornis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Três Lagoas, MS	Embrapa (1987), Higa et al. (1997), Moura (2001)
Sistema de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	Barra do Garças, MT	Tonini et al. (2018)
Sistema de integração pecuária--floresta	&	-	-	-	Brasnorte, MT	Dados a serem publicados.
Sistema de integração pecuária--floresta	&	-	-	-	Itiquira, MT	Dados a serem publicados.
Ensaio de competição de procedências de *E. brassiana*	Blocos casualizados	-	4	25	Jaciara, MT	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de competição de procedências de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados	-	4	25	Jaciara, MT	Embrapa (1987), Moura (2001)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Ensaio de comportamento de espécies e procedências de *E. cloeziana*	Blocos casualizados	-	5	49	Jaciara, MT	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de comportamento de espécies e procedências de *E. grandis*	Blocos casualizados	-	5	49	Jaciara, MT	Embrapa (1987), Moura (2001)
Ensaio de comportamento de espécies e procedências de *E. pilularis*	Blocos casualizados	-	4	25	Jaciara, MT	Embrapa (1987), Moura (2001)
Sistemas de integração pecuária--floresta	&	-	-	-	Juara, MT	Tonini et al. (2016)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com eucalipto, paricá, pau-de-balsa e teca	&	-	-	-	Nova Canaã do Norte, MT	Behling et al. (2013), Pedreira et al. (2013), Nogueira et al. (2016), Wink et al. (2018)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com eucalipto e mogno-africano	&	-	-	-	Santa Carmem, MT	Behling et al. (2013), Pedreira et al. (2013)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com gado de leite	&	-	-	-	Sinop, MT	Aguiar et al. (2014), Campelo et al. (2014), Carmo et al. (2014), Demicheli et al. (2013, 2014), Inácio et al. (2015), Garcia et al. (2014), Jorge et al. (2014)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com gado de corte	&	-	-	-	Sinop, MT	Diel et al. (2014), Rieger et al. (2014)
Teste de plantio misto de *E. urophylla* x *E. grandis* com *Acacia mangium*	Blocos casualizados	3 x 3	4	144	Sinop, MT	Farias et al. (2017)
Uso do biochar em mudas de eucalipto	Blocos casualizados	3,5 x 3,5	-	-	Sinop, MT	Santos (2014)

& Detalhes dos delineamentos/arranjos utilizados nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta podem ser consultados nas respectivas publicações.

Rede experimental com eucalipto na região Nordeste

A região Nordeste é composta por nove estados brasileiros, sendo Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. A característica mais marcante dessa região é a presença do Semiárido, composto por 1.262 municípios pertencentes aos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e, também, parte do estado de Minas Gerais (IBGE, 2018; Sudene, 2019). Os critérios para delimitação do Semiárido são: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; o Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e o percentual diário de deficiência hídrica igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (IBGE, 2018; Sudene, 2019).

Como reflexo das condições climáticas dominantes de semiaridez, a hidrografia é pobre em seus amplos aspectos (IBGE, 2018; Sudene, 2019). As condições hídricas são insuficientes para sustentar rios caudalosos que se mantenham perenes nos longos períodos de ausência de precipitações pluviais (IBGE, 2018; Sudene, 2019). Os rios São Francisco e Parnaíba são exceções frente ao cenário de rios intermitentes (IBGE, 2018; Sudene, 2019). Esses aspectos peculiares são importantes para compreensão do comportamento silvicultural das espécies florestais inseridas nessa região.

Ressalta-se que os plantios de eucalipto são vistos, nessa região, como oportunidade de redução da pressão sob recursos nativos do Bioma Caatinga, recuperação de áreas antropizadas e, desde condizentes tecnicamente e legalmente com esse tipo de plantio, maior uniformidade da lenha obtida, além de possibilidade de oferta em quantidade, qualidade (em termos de melhor rendimento energético, por exemplo) e com raio econômico viável ao transporte entre os fornecedores e os consumidores de madeira (Drumond, 2012a). Ainda que muitas localidades semiáridas não sejam atrativas para grandes empreendimentos florestais, deve-se atentar ao suprimento de demandas locais (carvão vegetal, lenha, madeira tratada, madeira serrada para diversas finalidades, dentre outras). Neste caso, se enquadram a Chapada do Araripe, importante polo gesseiro do Brasil, que requer grande quantidade de lenha no processo e, também, os pólos moveleiros de Pernambuco (Recife e outros municípios) e Ceará (Fortaleza, Iguatu, Marco, dentre outros) (Drumond, 2012a; Instituto de Estudos e Marketing Industrial, 2015). Deve-se mencionar que os grandes maciços nordestinos de eucalipto na atualidade, que atendem majoritariamente empresas de celulose e papel, estão localizados nos municípios de Caravelas, BA (70.298 ha); Nova Viçosa, BA (54.236 ha); Açailândia, MA (40.268 ha); Barra do Corda, MA (24.273 ha) e Itinga do Maranhão, MA (20.179 ha) (IBGE, 2017), tendo esses municípios melhores condições ambientais para o cultivo do eucalipto do que aquelas da região Semiárida.

A rede experimental da região Nordeste é composta por 84 experimentos, distribuídos em 35 municípios presentes em todos os estados, exceto Alagoas (Figura 9,

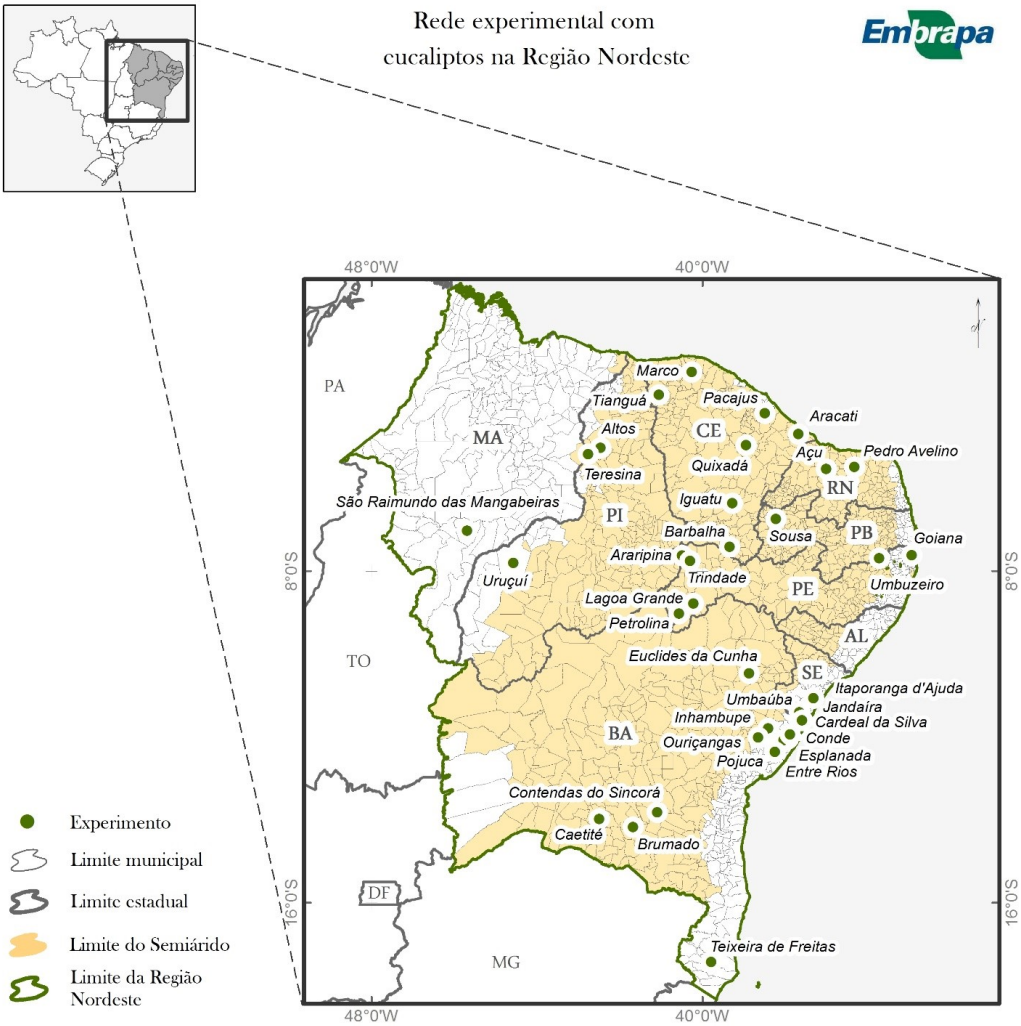


Figura 9. Municípios contemplados na rede experimental com eucalipto, conduzida pela Embrapa e parceiros, entre 1972 e 2019, na região Nordeste.

Tabelas 3 e 4). As condições ambientais nos locais experimentais contemplam altitudes médias desde o nível do mar até 826 m, quatro tipos climáticos - Af, Am, Aw e Bsh, estimativas de temperatura média anual variando entre 21,8 °C e 27,7 °C e estimativas de precipitação pluviométrica média anual entre 435 mm e 1.924 mm. Observa-se uma ampla variedade de condições ambientais testadas. Por meio dessas informações é possível também observar que parte dos experimentos foram instalados em locais sob forte deficiência hídrica, mas ainda assim foram observadas procedências, progênies e/ou árvores/clones com desenvolvimento satisfatório.

Tabela 3. Características ambientais dos municípios com experimentação de eucaliptos, conduzida pela Embrapa e parceiros, na região Nordeste.

	Município/Estado	Altitude (m)	Clima	Temperatura média anual (°C)	Precipitação pluviométrica média anual (mm)
1	Brumado, BA	449	Clima Semiárido quente (Bsh)	23,80	590
2	Caetité, BA	826	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	21,80	862
3	Cardeal Silva, BA	59	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Af)	24,20	1.438
4	Conde, BA	5	Clima Tropical, úmido ou subúmido (Am)	25,00	1.489
5	Contendas do Sicorá, BA	295	Clima Semiárido quente (Bsh)	24,30	581
6	Entre Rios, BA	162	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Af)	23,40	1.339
7	Esplanada, BA	155	Clima Tropical, úmido ou subúmido (Am)	23,60	1.226
8	Euclides da Cunha, BA	473	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,10	662
9	Inhambupe, BA	159	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,50	905
10	Jandaira, BA	142	Clima Tropical, com verão seco (As)	24,10	1.231
11	Ouriçangas, BA	247	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	22,80	1.120
12	Pojuca, BA	72	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Af)	24,20	1.570
13	Teixeira de Freitas, BA	117	Clima Tropical, úmido ou subúmido (Am)	24,30	1.099
14	Aracati, CE	7	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	27,10	1.024
15	Barbalha, CE	400	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,50	1.058
16	Iguatu, CE	220	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,90	869
17	Marco, CE	26	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	27,70	1.045
18	Pacajus, CE	79	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,00	1.020
19	Quixadá, CE	186	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	27,10	765
20	Tianguá, CE	792	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	22,00	1.258

Continua...

Tabela 3. Continuação...

	Município/Estado	Altitude média (m)	Clima	Temperatura média anual (°C)	Precipitação pluviométrica média anual (mm)
21	São Raimundo das Mangabeiras, MA	250	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,40	1.157
22	Souza, PB	227	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,70	872
23	Umbuzeiro, PB	506	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	23,30	878
24	Araripina, PE	636	Clima Semiárido quente (Bsh)	23,70	719
25	Goiana, PE	13	Clima Tropical, úmido ou subúmido (Am)	24,90	1.924
26	Lagoa Grande, PE	349	Clima Semiárido quente (Bsh)	22,90	563
27	Petrolina, PE	381	Clima Semiárido quente (Bsh)	24,80	435
28	Trindade, PE	510	Clima Semiárido quente (Bsh)	24,40	710
29	Altos (Palmares), PI	181	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,60	1.472
30	Teresina, PI	81	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	27,60	1.349
31	Uruçuí, PI	173	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	27,20	1.069
32	Açu, RN	49	Clima Semiárido quente (Bsh)	27,70	646
33	Pedro Avelino, RN	96	Clima Semiárido quente (Bsh)	26,10	502
34	Itaporanga D'Ajuda, SE	5	Clima Tropical, úmido ou subúmido (Am)	25,40	1.395
35	Umbaúba, SE	146	Clima Tropical, úmido ou subúmido (Am)	24,40	1.291

Fonte: Climate-Data.Org (2019).

Tabela 4. Descrições dos experimentos implantados pela Embrapa e parceiros na Região Nordeste.

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pellita*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Alcobaça, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. resinifera*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Alcobaça, BA	Higa et al. (1997)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Brumado, BA	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Caetité, BA	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Arboreto	-	1	25	Cardeal Silva, BA	Pires et al. (1981a), Pires e Ferreira (1982)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Arboreto	-	1	36	Conde, BA	Pires et al. (1981a), Pires e Ferreira (1982)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Contendas do Sincorá, BA	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste combinado de procedências e progênies de *C. maculata*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Entre Rios, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. camaldulensis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Entre Rios, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. cloeziana*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Entre Rios, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pellita*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Entre Rios, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pilularis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Entre Rios, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. tereticornis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Entre Rios, BA	Embrapa (1987), Wrege et al. (2011)

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste de progênie de *E. resinifera*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Entre Rios, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pellita*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Esplanada, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pellita*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Esplanada, BA	Embrapa (1987)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	-	-	36	Esplanada, BA	Embrapa (1987)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Euclides da Cunha, BA	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Arboreto	-	1	36	Inhambupe, BA	Pires et al. (1981a), Pires e Ferreira (1982)
Teste combinado de procedências e progênies de *C. maculata*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Inhambupe, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. cloeziana*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Inhambupe, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pellita*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Inhambupe, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pilularis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Inhambupe, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. resinifera*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Inhambupe, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. tereticornis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Inhambupe, BA	Higa et al. (1997), Wrege et al. (2011)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. cloeziana*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Jandaira, BA	Embrapa (1987)

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste combinado de procedências e progênies de *E. cloeziana*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Jandaira, BA	Embrapa (1987)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pellita*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Jandaira, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. resinifera*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Jandaira, BA	Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. tereticornis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Jandaira, BA	Higa et al. (1997), Wrege et al. (2011)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. camaldulensis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Olindina, BA	Higa et al. (1997)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Arboreto	-	2	25	Ouriçangas, BA	Pires et al. (1981a), Pires e Ferreira (1982)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	-	-	-	-	Ouriçangas, BA	Pires e Ferreira (1982)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 1,33	10	5	Pojuca, BA	Drumond et al. (2001)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Arboreto	-	1	36	Teixeira de Freitas, BA	Pires et al. (1981a)
Teste clonal de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 4	4	25	Aracati, CE	Dados a serem publicados
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Barbalha, CE	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste clonal de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 4	4	25	Iguatu, CE	Dados a serem publicados
Teste clonal de *Eucalyptus* spp. com e sem irrigação	Inteiramente casualizado	3 x 2	3	15	Marco, CE	Dados a serem publicados
Ensaio com procedências de *Eucalyptus* da África e Austrália	-	-	-	-	Pacajus, CE	Embrapa (1987)

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste clonal de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 4	6	5	Pacajus, CE	Dados a serem publicados
Ensaio de procedência de *E. microtheca*	Blocos casualizados	-	8	5	Quixadá, CE	Embrapa (1987)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	3	25	Tianguá, CE	Frota et al. (1992)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta	&	-	-	-	São Raimundo das Mangabeiras, MA	Dados a serem publicados.
Comportamento de *E. camaldulensis* Dehnh	Blocos casualizados	3 x 2	6	5	Souza, PB	Lima et al. (1985),
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Souza, PB	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste de espaçamento de clones de *E. brassiana* x *E. urophylla*	Fatorial	Vários	-	-	Araripina, PE	Drumond (2012a), Carmo et al. (2010), Drumond et al. (2009c)
Teste de espaçamento de clones de *E. grandis* x *E. camaldulensis*	Fatorial	Vários	-	-	Araripina, PE	Drumond et al. (2012a), Drumond et al. (2009b)
Influência do preparo do solo no crescimento de clones de *Eucalyptus*	Blocos casualizados	3 x 3	8	16	Araripina, PE	Drumond et al. (2015)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	-	4	6	Goiana, PE	Embrapa (1987)
Seleção de espécies e procedências florestais para produção de celulose	Blocos casualizados	-	4	6	Goiana, PE	Embrapa (1987)

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 3	4	5	Lagoa Grande, PE	Drumond et al. (2003b)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	-	6	5	Petrolina, PE	Embrapa (1987)
Associação de *L. leucocephala e E. camaldulensis*	Blocos casualizados	-	3	-	Petrolina, PE	Embrapa (1987)
Efeito da dosagem de fertilizantes no desenvolvimento de *C. citriodora*	Blocos casualizados	-	-	-	Petrolina, PE	Embrapa (1987)
Ensaio de comportamento de espécies florestais em solos marginais	Blocos casualizados	-	3	9	Petrolina, PE	Embrapa (1987), Lima (1986)
Ensaio de procedência de *C. citriodora*	Látice retangular 5 x 6	3 x 3	3	10	Petrolina, PE	Pires (1985)
Ensaio de procedência de *E. alba*	Blocos casualizados	3 x 3	3	36	Petrolina, PE	Pires et al. (1985a)
Ensaio de procedências de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados	3 x 2	8	6	Petrolina, PE	Pires et al. (1981a)
Ensaio de procedências de *E. tereticornis*	Blocos casualizados	3 x 2	8	6	Petrolina, PE	Pires et al. (1985b), Wrege et al. (2011)
Ensaio de procedências de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados	-	8	6	Petrolina, PE	Embrapa (1987)
Ensaio de procedências de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados	-	8	6	Petrolina, PE	Lima e Pires (1985)
Ensaio de procedências de *E. crebra*	Blocos casualizados	3 x 3	8	8	Petrolina, PE	Oliveira e Lima (1990)

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	8	6	Petrolina, PE	Pires et al. (1985d)
Ensaio de procedências de *E. microtheca*	Blocos casualizados	3 x 3	7	5	Petrolina, PE	Pires et al. (1985c) Oliveira e Drumond (2003)
Seleção de espécies forrageiras para plantio associado a *C. citriodora*	Blocos casualizados	-	3	25	Petrolina, PE	Embrapa (1987)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	4	5	Petrolina, PE	Drumond et al. (2003b)
Sistema silvipastoril com *E. camaldulensis*	&	-	-	-	Petrolina, PE	Ribaski et al. (1993)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Trindade, PE	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Umbuzeiro, PE	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Seleção de espécies e procedências florestais para produção de celulose	Blocos casualizados	-	4	6	Umbuzeiro, PE	Embrapa (1987)
Teste de espécies e procedências de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados	3 x 3	6	5	Teresina, PI	Souza e Carvalho (1984)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	-	-	-	-	Altos (Palmares), PI	Pires e Ferreira (1982)
Comportamento de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	-	6	5	Teresina, PI	Embrapa (1987)
Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com eucalipto	&	-	-	-	Uruçuí, PI	Dados a serem publicados.

Continua...

Tabela 4. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	10	5	Pedro Avelino, RN	Drumond et al. (2016), Drumond e Oliveira (2006)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	3	25	Pedro Avelino, RN	Andrade et al. (1990),
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	-	2 x 2	-	-	Açu, RN	Silva et al. (1980)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	-	-	-	-	Açu, RN	Pires e Ferreira (1982)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 2	5	5	Itaporanga D'Ajuda, SE	Drumond et al. (1997)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 1,5	10	5	Itaporanga D'Ajuda, SE	Drumond et al. (1998)
Teste de espécies de *Eucalyptus* spp.	Inteiramente casualizado	4 x 2,5	15	1	Itaporanga D'Ajuda, SE	Siqueira et al. (2002)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Inteiramente casualizado	3 x 2	1	-	Umbaúba, SE	Siqueira et al. (1999)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Inteiramente casualizado	3 x 2	1	15	Umbaúba, SE	Siqueira et al. (1999)
Teste de espécies e procedências de *Eucalyptus* spp.	Inteiramente casualizado	3 x 2	3	50	Umbaúba, SE	Siqueira et al. (1999)

[&] Detalhes dos delineamentos/arranjos utilizados nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta podem ser consultados nas respectivas publicações.

Rede experimental com eucalipto na região Norte

A região Norte, composta pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, possui a maior área territorial, ocupando 44,25% do território nacional. Caracteriza-se pela predominância do Bioma Amazônico e do clima equatorial. Conforme já esperado, a incidência de plantios florestais e, consequentemente, também de eucalipto nessa região é menor quando comparada com as demais. Entretanto, isso não significa que o eucalipto não seja importante em determinadas localidades, como é o caso de Almeirim, PA (38.482 ha); Dom Eliseu, PA (25.550 ha); Paragominas, PA (32.000 ha); Ulianópolis, PA (36.250 ha); Ferreira Gomes, AP (28.314 ha); Brejinho de Nazaré, TO (22.000 ha) e São Bento do Tocantins, TO (20.300 ha), que concentram os maiores maciços de eucaliptos da região, para atender à produção de celulose e papel, dentre outras finalidades (IBGE, 2017).

Na Região Norte, a rede de eucalipto da Embrapa é formada por 41 experimentos de campo, com abrangência de 16 municípios (Figura 10, Tabelas 5 e 6). Nesses locais, as altitudes médias variam desde o nível do mar até 595 m, havendo dois tipos climáticos - Am e Aw, com estimativas de temperatura média anual entre 20,8 °C e 27,4 °C e de precipitação pluviométrica média anual entre 1.287 mm e 2.487 mm.

As principais pesquisas conduzidas pela Embrapa e parceiros nos experimentos das três regiões foram divididas por temas e são sucintamente comentadas nos itens subsequentes. Maiores detalhes sobre cada um dos trabalhos que foram ou que têm sido desenvolvidos poderão ser acessados nos links inseridos nas respectivas referências bibliográficas ao final deste capítulo. Em cada uma das publicações são dadas as devidas ênfases aos parceiros envolvidos nos vários trabalhos.

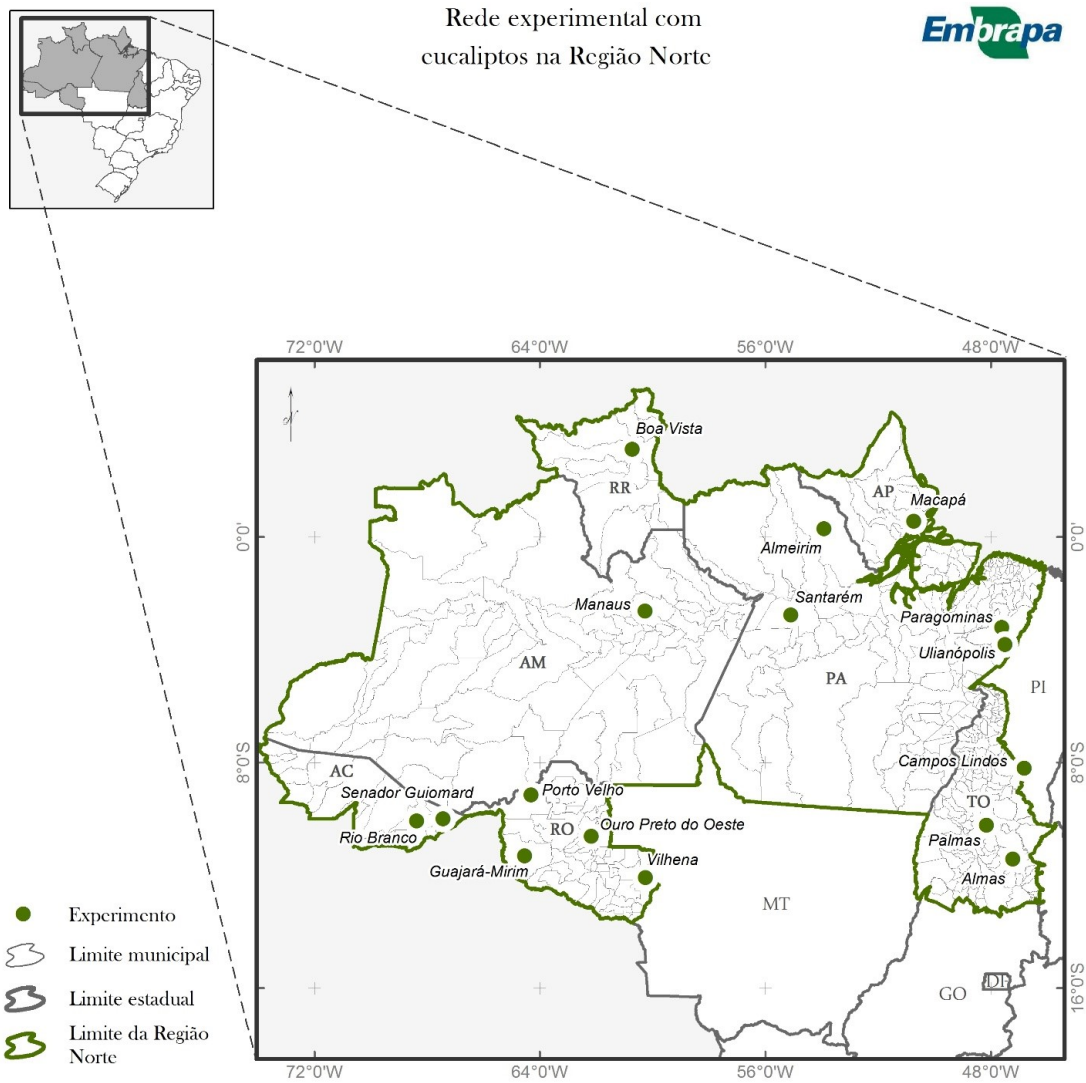


Figura 10. Municípios contemplados na rede experimental com eucalipto, conduzida pela Embrapa e parceiros, entre 1972 e 2019, na região Norte.

Tabela 5. Características ambientais dos municípios com experimentação de eucaliptos, conduzida pela Embrapa e parceiros, na região Norte.

	Município/Estado	Altitude (m)	Clima	Temperatura média anual (ºC)	Precipitação pluviométrica média anual (mm)
1	Rio Branco, AC	136	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	26,20	1.935
2	Senador Guiomard, AC	207	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	25,90	1.921
3	Manaus, AM	33	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	27,40	2.145
4	Macapá, AP	16	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	27,00	2.487
5	Almeirim, PA / Monte Dourado, PA	4	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	27,20	1.970
6	Paragominas, PA	84	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	26,60	1.805
7	Ulianópolis, PA	128	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,60	1.515
8	Santarém, PA	36	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	25,90	2.150
9	Guajará-Mirim, RO	130	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,60	1.488
10	Porto Velho, RO	86	Clima Tropical, úmido ou superúmido (Am)	26,00	2.095
11	Ouro Preto do Oeste, RO	237	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	24,30	1.922
12	Vilhena, RO	595	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	20,80	1.908
13	Boa Vista, RR	84	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	27,20	1.534
14	Almas, TO	440	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	25,50	1.524
15	Campos Lindos, TO	303	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,10	1.287
16	Palmas, TO	225	Clima Tropical, com inverno seco (Aw)	26,70	1.760

Fonte: Climate-Data.Org (2019).

Tabela 6. Descrições dos experimentos implantados pela Embrapa e parceiros na região Norte.

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Durabilidade de estacas de eucalipto tratadas com CCA	Inteiramente casua-lizado	3 x 1		30	Rio Branco, AC	Araújo et al. (2010, 2012), Araújo e Oliveira (2011)
Crescimento de eucalipto e mogno-brasileiro como cercas vivas no Acre	&	-	-	-	Senador Guiomard, AC	Oliveira et al. (2007, 2012)
Comportamento de *Acacia mangium* e clones de *Eucalyptus*	&	3 x 2	1	81	Manaus, AM	Souza et al. (2004)
Determinação do estoque de carbono em *E. urophylla* x *E. grandis*	-	3 x 2	1	49	Manaus, AM	Lima e Cunha (2009)
Determinação da densidade básica de *E. macrophylla* x *E. grandis*	-	-	-	-	Manaus, AM	Souza et al. (2010)
Ensaio de comportamento de espécies/procedências do gênero *Eucalyptus* I	Blocos casualizados	3 x 2	4	20	Macapá, AP	Embrapa (1987), Castro et al. (1990)
Ensaio de comportamento de espécies/procedências do gênero *Eucalyptus* I	-		-	-	Macapá, AP	Embrapa (1987)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*), gliricidia (*Gliricidia sepium)* e tachi-branco (*Sclerolobium paniculatum*)	&	-	-	-	Macapá, AP	Baia et al. (2016)

Continua...

Tabela 6. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Sistema silvipastoril com clones de *E. urophylla* x *E. grandis*	Anéis de Nelder &	-	-	-	Macapá, AP	Mochiutti e Meirelles (2000)
Teste combinado de procedência e progênies de *E. grandis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Almeirim, PA	Embrapa (1987), Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pellita*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Almeirim, PA	Embrapa (1987), Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. pilularis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Almeirim, PA	Embrapa (1987), Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. resinifera*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Almeirim, PA	Embrapa (1987), Higa et al. (1997)
Teste combinado de procedências e progênies de *E. tereticornis*	Blocos famílias compactadas	3 x 2	10	6	Almeirim, PA	Embrapa (1987), Higa et al. (1997)
Teste de espécies e procedências do gênero *Eucalyptus*	Blocos casualizados		3	36	Monte Dourado, PA	Embrapa (1987)
Teste de espécies e procedências do gênero *Eucalyptus*	Blocos casualizados		3	36	Monte Dourado, PA	Embrapa (1987)
Teste de progênies de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados		9	6	Monte Dourado, PA	Embrapa (1987)
Teste de progênies de *E. camaldulensis*	Blocos casualizados		9	6	Monte Dourado, PA	Embrapa (1987)
Teste de progênies de *E. pellita*	Blocos casualizados		9	6	Monte Dourado, PA	Embrapa (1987)
Teste de progênies de *E. pellita*	Blocos casualizados		9	6	Monte Dourado, PA	Embrapa (1987)
Estoque de carbono em plantio clonal de *Eucalyptus urophylla*	-	2,7 x 3	-	-	Paragominas, PA	Lopes et al. (2015)

Continua...

Tabela 6. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Sistema silvipastoril com eucalipto (*E. tereticornis),* paricá (*Schizolobium amazonicum) e* tatajuba (*Bagassa guianensis*)	&	-	-	-	Paragominas, PA	Veiga e Almeida (2004), Azevedo et al. (2009)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com *E. urophylla*	&	-	-	-	Paragominas, PA	Silva et al. (2010, 2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b), Sales et al. (2015a, 2015b, 2016, 2017)
Ensaio de comportamento de espécies/procedências do gênero Eucalyptus	Blocos casualizados	3 x 3	4	36	Santarém, PA	Embrapa (1987), Kanashiro et al. (1983), Yared et al. (1988)
Teste de adubação em *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados (Fatorial 4 x 2)	-	3	-	Ulianópolis, PA	Pereira et al. (2017)
Competição de espécies e procedências de *Eucalyptus* na Região de Guajará Mirim	Blocos casualizados		-	40	Guajará-Mirim, RO	Embrapa (1987)
Competição de espécies e procedências de *Eucalyptus* na Região de Porto Velho	Blocos casualizados	3 x 2	4	36	Porto Velho, RO	Embrapa (1987), Castro (1983b)
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com eucalipto	&	-	-	-	Porto Velho, RO	Almeida et al. (2015), Azevedo et al. (2017, 2018), Cipriani et al. (2015a, 2016b, 2018), Passos et al. (2015a, 2015b), Salman et al. (2018), Saraiva et al. (2016), Souza et al. (2016, 2017, 2018)

Continua...

Tabela 6. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Sistema silvipastoril com eucalipto	&	-	-	-	Porto Velho, RO	Araújo Júnior et al. (2015, 2016)
Teste de adubação fosfatada em *Eucalyptus* na Região de Porto Velho	Blocos casualizados	3 x 2	3	12	Porto Velho, RO	Embrapa (1987), Castro (1983a)
Teste de adubação em *Eucalyptus* em Porto Velho	Blocos casualizados	3 x 2	2	25	Porto Velho, RO	Cipriani et al. (2012a, 2014, 2015a, 2015b, 2016a), Marcolan et al. (2015), Araújo Júnior et al. (2016)
Dendrometria e avaliação da performance de clones de *Eucalyptus*					Ouro Preto do Oeste, RO	Vieira et al. (2007)
Competição de espécies e procedências de *Eucalyptus* na Região de Vilhena	Blocos casualizados	3 x 2	4	36	Vilhena, RO	Embrapa (1987), Castro e Locatelli (1986)
Teste de adubação fosfatada em *Eucalyptus* na Região de Vilhena	Blocos casualizados	-	3	16	Vilhena, RO	Embrapa (1987)
Avaliação de desempenho silvicultural e densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp.	-	3 x 2	-	-	Vilhena, RO	Moraes et al. (2014)
Avaliação de comportamento silvicultural de *Eucalyptus*	-	3 x 3	-	-	Vilhena, RO	Cipriani et al. (2013)
Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com eucalipto	Blocos casualizados com parcela subdividida		4	-	Boa Vista, RR	Silva et al. (2015a, 2015b), Silva e Medeiros (2015)

Continua...

Tabela 6. Continuação...

Experimento	Delineamento	Espaçamento (m^2)	Número de repetições	Árvores/ parcela	Município/ Estado	Referências
Teste de adubação em *E. camaldulensis*	Blocos casualizados (Fatorial fracionário 4x4x4)	-	-	40	Boa Vista, RR	Costa et al. (2012)
Sistemas de integração pecuária--floresta com eucalipto	&	-	-	-	Campos lindos, TO	Dados a serem publicados.
Teste clonal de *Eucalyptus* spp.	Blocos casualizados	3 x 4	5	25	Palmas, TO	Dados a serem publicados.
Teste clonal de *Eucalyptus* spp. em sistema de integração pecuária-floresta com eucalipto	Blocos casualizados	3 x 4	4	16	Palmas, TO	Dados a serem publicados.
Sistemas de integração lavoura--pecuária-floresta com eucalipto	&	-	-	-	Palmas, TO	Dados a serem publicados.

[&] Detalhes dos delineamentos/arranjos utilizados nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta podem ser consultados nas respectivas publicações.

Introdução, avaliação e desenvolvimento de materiais genéticos

As introduções e avaliações de espécies, procedências, progênies e/ou clones de *Eucalyptus* e *Corymbia* na região Centro-Oeste contemplam, aproximadamente, 16 espécies: *C. citriodora*, *C. maculata*, *C. torelliana*, *E. alba*, *E. brassiana*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana*, *E. exserta*, *E. grandis*, *E. microcorys*, *E. saligna*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. tereticornis*, *E. crebra*, *E. urophylla*, além de híbridos interespecíficos entre algumas dessas espécies. Esses germoplasmas foram ou têm sido avaliados em diferentes locais nos estados de Goiás (Embrapa, 1987; Paludzynzyn Filho et al., 2011; 2013; 2014; Reis et al., 2014b), Mato Grosso (Embrapa, 1987; Tonini et al., 2018), Mato Grosso do Sul (Embrapa, 1987; Paludzynzyn Filho et al., 2011; Reis et al., 2014a; Ferreira et al., 2015a, 2016a, 2016b, 2017) e Distrito Federal (Moura; Costa, 1985; Albino et al., 1987; Caser et al., 1987; Embrapa, 1987; Moura et al., 1993, 1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1997) (Tabela 2).

As introduções de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* na região Nordeste são compostas por, aproximadamente, 28 espécies, sendo: *C. citriodora*, *C. maculata*, *E. alba*, *E. brassiana*, *E. brevifolia*, *E. botryoides*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana*, *E. crebra*, *E. drepanophylla*, *E. exserta*, *E. grandis*, *E. intermedia*, *E. microcorys*, *E. microtheca*, *E. miniata*, *E. nesophylla*, *E. paniculata*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. polycarpa*, *E. pyrocarpa*, *E. resinifera*, *E. robusta*, *E. tetrodonta*, *E. tereticornis*, *E. tesselaris* e *E. urophylla*, e também híbridos interespecíficos como *E. brassiana* x *E. urophylla*, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, dentre outros, totalizando centenas de procedências avaliadas no campo. Os germoplasmas de *Eucalyptus* e *Corymbia* (espécies, procedências e/ou progênies) foram implantados e avaliados em seis estados nordestinos, sendo esses: Bahia (Pires et al., 1981a; Pires; Ferreira, 1982; Drumond et al., 2001; Drumond; Oliveira, 2006), Ceará (Frota et al., 1992; Drumond; Oliveira, 2006), Paraíba (Lima et al., 1985; Drumond; Oliveira, 2006), Pernambuco (Silva et al., 1980; Pires et al., 1981b; Pires; Ferreira, 1982; Lima; Pires, 1985; Pires, 1985; Pires et al., 1985a, 1985b, 1985c, 1985d; Lima, 1986; Oliveira, 1990; Oliveira; Lima, 1990; Drumond et al., 2003a, 2003b; Oliveira; Drumond, 2003; Drumond; Oliveira, 2006), Piauí (Pires; Ferreira, 1982; Souza; Carvalho, 1984), Rio Grande do Norte (Silva et al., 1980; Pires; Ferreira, 1982; Andrade et al., 1990; Drumond; Oliveira, 2006) e Sergipe (Drumond et al., 1997; 1998; Lima; Oliveira, 1997; Siqueira et al., 1999, 2002) (Tabela 4).

Na região Norte, os estudos sobre o desempenho de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* e *Corymbia* envolvem, aproximadamente, 12 espécies, sendo elas: *C. torelliana*, *E. alba*, *E. brassiana*, *E. camaldulensis*, *E. exserta*, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. robusta*, *E. tereticornis*, *E. urophylla*, *E. phateotricha* e, também, híbridos interespecíficos entre algumas dessas espécies. Além de diferentes espécies, foram

também avaliadas diferentes procedências, progênies e/ou clones dessas espécies. Os experimentos foram implantados nos estados do Acre (Oliveira et al., 2007, 2012), Amapá (Mochiutti; Meirelles, 2000, 2001; Baia et al., 2016), Pará (Kanashiro et al., 1983; Yared et al., 1988; Marques, 1992; Veiga; Almeida, 2004; Azevedo et al., 2009; Sales et al., 2015a, 2015b, 2016; Silva et al., 2015d, 2016, 2017a, 2017b), Rondônia (Castro, 1983b; Castro; Locatelli, 1986; Castro et al., 1990; Harmatiuk et al., 2011; Cipriani et al., 2013, 2014, 2016a, 2018; Marcolan et al., 2015), Roraima (Silva et al., 2015a; Silva; Medeiros, 2015a, 2015b) e Tocantins (dados ainda não publicados) (Tabela 6).

Avanços obtidos ou em andamento:

- Importação, introdução e avaliação de amplo acervo genético de diversas espécies, procedências e progênies pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia,* o que tem possibilitado ao Brasil obter destaque mundial como detentor de tal acervo. Por esse motivo, a necessidade de aplicação de medidas de conservação desse acervo é evidente.
- Maior compreensão do comportamento das diferentes espécies, procedências, progênies e/ou genótipos sob diversas condições ambientais nas novas fronteiras florestais. O bom desempenho de alguns desses materiais genéticos se reflete em maior sobrevivência de plantas, melhor forma do fuste, maior crescimento (altura, diâmetro à altura do peito e volume de madeira) e/ou maior tolerância a fatores bióticos e bióticos, a exemplo da expressiva deficiência hídrica encontrada em várias localidades experimentais do Semiárido do Nordeste. Maiores detalhes sobre os desempenhos dos materiais genéticos em cada local podem ser consultados nas referências citadas.
- Conhecimento da distribuição da variabilidade genética entre e dentro de procedências e progênies das diferentes espécies.
- Produção de sementes melhoradas de diversas espécies que atenderam ao abastecimento de plantios em várias localidades e de instituições/produtores envolvidos na implantação e condução de cada um dos experimentos.
- Seleção de germoplasmas mais produtivos a cada ambiente avaliado e formação de raças locais (seminal e clonal).
- Disponibilização de plataforma digital gratuita com acervo organizado de informações sobre o desempenho dos materiais genéticos avaliados em várias condições ambientais brasileiras.
- No decorrer dos anos, com o advento das técnicas de clonagem, a maior parte das espécies testadas foram relegadas a um segundo plano, em decorrência do desempenho quanto à produção de madeira e da maior facilidade de clonagem das espécies *E. grandis*, *E. urophylla* e seus híbridos interespecíficos. Com isso, houve uma

significativa popularização desses clones nos plantios comerciais das empresas que os produziram e, também, em plantios de terceiros. Entretanto, a partir dos avanços obtidos nas técnicas de clonagem e de cruzamentos controlados (uso de hormônio e de enxertia para indução de florescimento de árvores matrizes superiores em casa de vegetação e, também, da técnica de protoginia artificialmente induzida para realização dos cruzamentos), muitas espécies introduzidas e, até então pouco usadas, voltaram a despertar o interesse das empresas florestais. Essas espécies, até então pouco usadas pela baixa produtividade e/ou dificuldade de clonagem, possuem importantes alelos de tolerância a fatores bióticos e abióticos de importância econômica e, também, de qualidade da madeira e têm sido usadas na geração de clones de alto desempenho, quando cruzadas com clones de espécies mais melhoradas como *E. grandis* e *E. urophylla.* Outra importante contribuição na atualidade é a geração de híbridos de *Corymbia,* especialmente, *C. torelliana x C. citriodora*, cujos clones têm sido considerados adequados para uma vasta gama de usos. Esse contexto traz à tona a importância de se rastrear e resgatar árvores de alto desempenho ainda presentes nos experimentos de introdução das espécies conduzidos pela Embrapa e parceiros desde a década de 1970, de forma a aproveitá-las em cruzamentos controlados e desenvolvimento de materiais genéticos melhorados para serem usados por zonas de melhoramento. Como exemplo, pode-se citar que as espécies tidas como potenciais para o Semiárido, em decorrência da alta deficiência hídrica nessa região, são: *E. microtheca* (Drumond et al., 2016), *E. camaldulensis* (Drumond et al., 2016), *E. tereticornis* (Wrege et al., 2011; Drumond et al., 2016) e *E. crebra* (Oliveira et al., 2010; Drumond et al., 2016). A partir da identificação dessas espécies, pode-se selecionar as árvores superiores para produção de madeira e conduzir avanços de gerações das mesmas a partir de cruzamentos com clones já selecionados e utilizados em condições de deficiência hídrica, desde que de espécies compatíveis com àquelas citadas anteriormente.

Sistema de produção do eucalipto em monocultivo

As experimentações realizadas nos vários municípios brasileiros permitiram a geração de informações técnico-científicas que têm embasado o cultivo intensivo do eucalipto por parte de pequenos, médios e grandes produtores. As pesquisas realizadas culminaram com a elaboração do sistema de produção do eucalipto (disponível online) que contempla informações sobre aspectos socioeconômicos, ambientais e legais da eucaliptocultura, indicação de espécies e clones para plantio, produção de sementes, produção de mudas, sistemas de plantio, fundamentos de nutrição, calagem e adubação, recomendações de adubação mineral, pragas de importância econômica e outras desordens, manejo de plantações, mercado e comercialização (Santos et al.

2014). Informações sobre esses temas são encontradas em capítulos específicos dessa publicação e, também, em Galvão (2000) e Ferreira e Silva (2008). No que tange às novas fronteiras, informações pertinentes quanto aos monocultivos podem também ser encontradas em Moura (2001), Pulrolnik et al. (2009), Drumond (2012a), Cipriani et al. (2015b) e Drumond et al. (2015, 2016).

Observa-se que, ao longo dos anos, também estudos relativos à escolha do melhor espaçamento e sobre solos, nutrição, ciclagem de nutrientes e estoque de carbono em diferentes espécies e procedências de eucaliptos foram realizados nas novas fronteiras. Na região Centro-Oeste foram encontrados os seguintes relatos: Melo e Resck (2003a, 2003b, 2006), Melo et al. (2004, 2005), Nunes et al. (2012), Santos et al. (2013) e Ribeiro et al. (2015, 2018). Na região Nordeste, resultados foram apresentados por: Drumond et al. (1993, 2009b, 2009c, 2012a, 2012b, 2015), Drumond (2012a) e Santos et al. (2013). Já na região Norte, foram encontrados os seguintes relatos: Castro (1983a), Vieira et al. (2007), Beldini et al. (2009), Lima e Cunha (2009), Harmatiuk et al. (2011), Cipriani et al. (2012a, 2014, 2016a), Costa et al. (2012), Santos et al. (2013), Lopes et al. (2015), Marcolan et al. (2015), Araújo Júnior et al. (2016) e Pereira et al. (2017). Maiores detalhes sobre solos, nutrição e uso do biochar em eucalipto são encontrados em capítulos que tratam desses dois temas, no presente livro.

Estudos sobre biometria de eucalipto (medição, volumetria, modelos de crescimento e produção), em monocultivos, nas novas fronteiras foram publicados por Guimarães (1982a, 1982b, 1986), Guimarães e Castro (1982, 1986) e Vieira (2007). No que tange a essa temática, outras informações são encontradas no capítulo deste livro que trata de softwares para manejo e análise econômica de plantios de eucalipto.

Trabalhos sobre o papel dos monocultivos de eucalipto na mitigação de gases de efeito estufa nas novas fronteiras foram conduzidos por Passos et al. (2014), Ferreira et al. (2015, 2016a), Oliveira et al. (2015b) e Mauro et al. (2016). Informações detalhadas sobre a mitigação e adaptação do cultivo do eucalipto no contexto das mudanças climáticas são encontradas em capítulo específico desse livro.

Estudos sobre a qualidade da madeira de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* têm sido também conduzidos pela Embrapa Florestas. Informações sobre esse assunto são fornecidas nos capítulos que tratam da qualidade da madeira de eucaliptos desta publicação. A influência da gomose e da procedência em árvores de *E. grandis,* plantadas em ambiente de Cerrado, nos rendimentos de carbonização e na qualidade do carvão vegetal foram averiguadas por Vale et al. (1997). A carbonização da madeira de eucalipto para geração de carvão vegetal foi também investigada por Gomes et al. (2013).

Estudos sobre a densidade da madeira foram realizados por Vale et al. (1995), Souza et al. (2010), Volpato et al. (2013), Moura et al. 1995b e Moraes et al. (2014). As variações das estimativas do poder calorífico ao longo das árvores de clones de

eucaliptos foram estudadas por Maranhão et al. (2016). As durabilidades de estacas de eucalipto tratadas pelo método CCA foram avaliadas por Araújo et al. (2010, 2012) e Araújo e Oliveira (2011).

Informações sobre as exigências de qualidade da madeira e a influência da desrama sobre os produtos serrados foram apresentadas por Pulronik et al. (2009) e Moraes Neto (2017).

Avanços obtidos ou em andamento:

- Geração de pacote de conhecimentos em vários temas de interesse de produtores rurais, empresários, graduandos, pós-graduandos e profissionais.
- Elaboração do sistema de produção do eucalipto em monocultivo e consequente aumento da produtividade e na geração de maior renda aos silvicultores.
- Contribuição para o desenvolvimento de processos (sistemas de manejo, zoneamentos e metodologias), serviços (análises laboratoriais diversas, capacitação, controle de qualidade e monitoramento) voltados ao monocultivo do eucalipto, em diferentes condições ambientais brasileiras.
- Disponibilização de plataforma digital gratuita com acervo organizado de informações sobre o cultivo de eucalipto, em várias regiões brasileiras.

Sistema de produção do eucalipto em integração lavoura-pecuária-floresta

Os tipos de sistemas de integração com a presença do eucalipto (integração lavoura, pecuária e floresta; integração pecuária-floresta e integração lavoura-floresta) e as evoluções das áreas de plantios de cada um deles em território brasileiro são detalhados por Drumond et al. (2009a), Balbino et al. (2011a, 2012), Porfírio-da-Silva (2012), Behling et al. (2013), Cordeiro et al. (2015) e ILPF em números (2016, 2017). Vale mencionar que o eucalipto parece ser o gênero mais utilizado nesses sistemas, no Brasil. Informações adicionais quanto ao uso do componente arbóreo, além das vantagens do seu uso como árvores dispersas, aleias, quebra-ventos, bosquetes e bancos de proteína, foram amplamente detalhados por Behling et al. (2013), Fonseca (1990), Melotto e Laura (2009), Pedreira et al. (2013) e Porfírio-da-Silva (2012).

Informações sobre planejamento de sistemas de integração nas novas fronteiras da silvicultura brasileira, além de peculiaridades sobre a implantação e as práticas de manejo do eucalipto nesses sistemas, foram fornecidas por Drumond e Couto (1994), Drumond et al. (2004, 2009b), Porfírio-da-Silva (2006, 2012), Porfírio-da-Silva et al. (2008, 2009, 2015), Balbino et al. (2011b), Drumond (2012a, 2012b), Ferreira et al.

(2012), Serra et al. (2012), Behling et al. (2013), Pacheco et al. (2013, 2016, 2017, 2019), Cordeiro et al. (2015) e Wruck et al. (2015a, 2015b).

As principais características que as árvores devem possuir, ou seja, seu ideótipo para compor, da melhor maneira possível, um sistema de integração foram apresentadas por Porfírio-da-Silva (2013, 2015). Entre as características, observa-se que o eucalipto apresenta adequação à maioria delas, como facilidade de produção das mudas, protocolo silvicultural bastante conhecido, geração de produtos madeiráveis e não madeiráveis de valor comercial (exemplo: mel, própolis, óleos essenciais, dentre outros), rápido crescimento, baixo ou nenhum potencial tóxico às culturas anuais e aos animais, boa tolerância ao fogo quando rasteiro, boa arquitetura de copa e menor interferência desta sobre o pasto (quando bem manejada), fuste reto/colunar, altura mínima superior a 7 m quando adulta, madeira de fácil comercialização em boa parte do território nacional e existência de algumas espécies com capacidade de associação com micorrizas já estudadas.

A Embrapa tem conduzido diversas unidades de referência tecnológica (URTs) em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta nas novas fronteiras florestais. Essas unidades têm sido objeto de pesquisas multidisciplinares, visitas técnicas de comitivas nacionais e internacionais, dias de campo, dentre outros eventos. Na região Centro-Oeste, destacam-se as URT's localizadas no Distrito Federal (Moraes Neto et al., 2010, 2012, 2014a, 2014b; Pulrolnik et al., 2010; Silva et al., 2014), em Goiás (Pacheco et al., 2013, 2016, 2017, 2019; Wruck et al., 2015a, 2015b; Coelho Júnior et al., 2016; Nicoli et al., 2017; Ramos et al., 2019), em Mato Grosso (Behling et al., 2013; Pedreira et al., 2013; Tonini et al., 2016, 2018) e em Mato Grosso do Sul (Melotto; Laura, 2004; Ferreira et al., 2015a, 2015b, 2016a, 2016b; Gamarra et al., 2017; Hubner et al., 2017) (Tabela 2).

Na região Nordeste foram encontrados relatos de trabalhos conduzidos em URTs em Pernambuco (Ribaski et al., 1993; Drumond; Couto, 1994; Drumond et al., 2004, 2009; Drumond, 2012a, 2012b) e, também no Maranhão (dados ainda não publicados) (Tabela 4).

Na Região Norte, há pesquisas realizadas com eucalipto em integração lavoura-pecuária-floresta no Acre (Oliveira et al., 2007, 2012), no Amapá (Baia et al., 2016; Mochiutti; Meirelles, 2000, 2001) no Pará (Marques, 1992; Veiga et al., 2000; Veiga; Almeida, 2004; Azevedo et al., 2009; Sales et al., 2015a; 2015b; 2016; 2017; Silva et al., 2016a, 2016b, 2017b), em Rondônia (Almeida et al., 2015; Araújo Júnior et al., 2015, 2016; Saraiva et al., 2016; Souza et al., 2016; 2017; 2018 Azevedo et al., 2017; 2018; Cipriani et al., 2015a; 2016b; 2018; Passos et al., 2015a, 2015b; Salman et al., 2018), em Roraima (Silva et al., 2015a; Silva; Medeiros, 2015a, 2015b) e, também no Tocantins (dados ainda não publicados) (Tabela 6).

Em levantamento dos materiais genéticos mais utilizados em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta da Embrapa nas novas fronteiras florestais brasileiras,

observa-se uma predominância dos seguintes clones comerciais de eucalipto: AEC 0007, AEC 0043, AEC 0056, AEC 144, AEC 224, AEC 1528, AEC 2034, AEC 2111, BRS 362, BRS 363, VM 01, H 13, 1277, Codemin 33, Codemin 645 e Codemin 86. De forma geral, esses clones têm obtido boa produção de madeira nas diferentes localidades de teste, embora tenham sido selecionados originalmente para uso em monocultivos.

Os efeitos das árvores de eucalipto, quando plantadas em diferentes arranjos espaciais, sobre as produtividades dos componentes agrícola ou forrageiro/animal foram avaliados por: Alves et al. (2013), França et al. (2013), Gomes et al. (2013), Gonçalves et al. (2013), Holschuch et al. (2014), Jorge et al. (2014), Lange et al. (2015), Almeida et al. (2015), Passos et al. (2015a, 2015b), Silva et al. (2015a, 2015e), Mello et al. (2016), Raimundo et al. (2016), Silva e Pedreira (2016), Tschope et al. (2016), Azevedo et al. (2017), Gamarra et al. (2017), Pedreira et al. (2017), Botelho et al. (2018), Carvalho et al. (2018), Cipriani et al. (2018), Domiciano et al. (2018), Pereira et al. (2018) e Roecker et al. (2018). Avaliações sobre conforto térmico e bem-estar animal, em decorrência da presença do eucalipto em sistemas de integração, são apresentados por: Melotto e Laura (2009), Andrade et al. (2014), Faria et al. (2014, 2016); Garcia et al. (2014), Karvatte Júnior et al. (2016), Lopes et al. (2016, 2018a, 2018b), Mello et al. (2016) e Magalhães et al. (2018).

A respeito de solos e nutrição de plantas, sob sistemas de integração com eucalipto, foram publicados os seguintes trabalhos nas novas fronteiras: Araújo et al. (2013, 2015), Gonçalves et al. (2013, 2015a, 2015b), Carmo et al. (2014), Diel et al. (2014), Ferreira et al. (2014), Ribeiro et al. (2014, 2015, 2018), Rieger et al. (2014), Assis et al. (2015, 2017), Campos et al. (2015), Corrêa et al. (2015), Guimarães et al. (2015), Wink et al. (2015, 2018), Wruck et al. (2015a, 2015b), Calil e Calassa (2016), Conceição et al. (2017a, 2017b), Madari et al. (2017), Moreira et al. (2018a, 2018b) e Silva et al. (2015b, 2015c). Uma ampla revisão sobre adubação orgânica em sistemas silvipastoris foi realizada por Matoso e Salman (2016).

Os aspectos ecofisiológicos e de crescimento de eucalipto, quando submetido à suplementação hídrica, em sistemas de integração foram investigados por Costa et al. (2015). Além disso, foi também analisada a dinâmica da água no solo sob condições de sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta com eucalipto (Medeiros et al., 2015).

Incidências de plantas daninhas e suas relações com as distâncias dos renques de eucaliptos, em sistemas de integração, foram avaliadas por Ikeda et al. (2016a, 2016b) e Menegatti et al. (2014). O efeito de herbicidas no desenvolvimento das árvores em sistemas de integração foi averiguado por Veronka et al. (2009).

As influências dos arranjos espaciais sobre as características silviculturais de diferentes clones de eucalipto em sistemas de integração foram averiguados por Aguiar et al. (2014) e Ferreira et al. (2016b, 2017). Além disso, foi também realizada a avaliação

da ramagem de eucaliptos em integração (Demichelli et al., 2013). A qualidade da madeira de eucalipto em sistemas de integração foi investigada por Anjos et al. (2016).

Informações sobre biometria e produção volumétrica de madeira de eucalipto nesses sistemas foram estudas por Moraes Neto et al. (2010, 2012, 2014a, 2014b), Dorneles et al. (2015), Coelho Júnior et al. (2016) e Cerqueira et al. (2018). Análises econômicas e financeiras do eucalipto, sob condições de integração, são discutidas por Gimenez et al. (2017), Michetti et al. (2017), Nicoli et al. (2017) e Reis et al. (2015c). Outras informações sobre prognose de crescimento e avaliação econômica de eucalipto em sistemas de integração são fornecidas no capítulo sobre softwares para manejo e viabilização econômica da cultura dos eucaliptos, respectivamente.

Avaliações das estimativas de biomassa e das áreas foliares de clones de eucalipto em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta, além de suas implicações para a desrama, foram realizadas por Morales et al. (2015) e Tonini et al. (2016). O efeito do sistema de plantio e da exposição solar sobre a alocação de biomassa no desenvolvimento do eucalipto foi pesquisada por Tonini et al. (2019). Outros estudos sobre desempenho, alocação de biomassa e sequestro de carbono em eucalipto, sob condições de integração lavoura, pecuária e floresta, foram realizados por Campos et al. (2015), Silva et al. (2015a, 2015b, 2015c, 2017), Tonini et al. (2015, 2018), Ramos et al. (2019) e Gonçalves et al. (2015).

Avaliações das emissões de gases de efeito estufa por animais e suas mitigações em sistemas de integração com eucaliptos foram realizadas por Cavalcante et al. (2014), Mombach et al. (2016, 2018), Nogueira et al. (2016), Reis et al. (2016), Silveira et al. (2016), Oliveira et al. (2017), Kipert et al. (2018) e Silva et al. (2018). Resultados da avaliação de impactos ambientais dos sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta conforme o contexto de adoção foram fornecidos por Rodrigues et al. (2017).

Além disso, foram também observados trabalhos sobre consórcios/plantios mistos de eucalipto com outras espécies florestais (Souza et al., 2004; Farias et al., 2017; Oliveira et al., 2007, 2012). O uso do eucalipto em plantios mistos para recuperação de áreas anteriormente utilizadas para mineração é descrito por Drumond et al. (2003b, 2011) e Lima et al. (2003).

Avanços obtidos ou em andamento:

- Contribuição para que o Brasil se tornasse referência mundial em know-how tecnológico em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta com eucalipto.
- Implantação e condução de expressiva rede de unidades de referência tecnológica de sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta com eucalipto, nas quais têm sido desenvolvidas ações de ensino, pesquisa e extensão, além de trabalhos técnicos, dias de campo, reuniões e visitas técnicas de comitivas nacionais e internacionais.

- Desenvolvimento de protocolos silviculturais de eucalipto em sistemas de integração e, consequentemente, aumento na produtividade e na geração de renda aos produtores.
- Observação de melhoria da renda e da qualidade de vida dos produtores que têm aderido à tecnologia de integração lavoura-pecuária-floresta.
- Estruturação de programas de transferência de tecnologia e capacitação tecnológica em sistemas de integração, voltados para agentes de empresas de assistência técnica e extensão rural, técnicos, consultores, empresários, estudantes e produtores rurais.
- Estruturação de um programa de parcerias entre órgãos públicos e privados, cujo objetivo é ampliar a adoção de tecnologias mais sustentáveis.
- Disponibilização de softwares voltados para o manejo florestal em sistemas de integração.
- Disponibilização de plataforma digital gratuita com acervo organizado de informações sobre sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta com eucalipto, em várias regiões brasileiras.

Estresses bióticos e abióticos

No que tange às doenças bióticas de importância econômica para a cultura de eucalipto, foram encontradas os seguintes relatos de trabalhos nas novas fronteiras: ferrugem (*Puccinia psidii*) (Santos et al., 2010; Sivieiro et al., 2015a, 2016a), manchas foliares bacterianas (*Xanthomonas axonopodis*, *X. campestris*, *Pseudomonas syringae*, *P. cichorii*, *P. putida*, *Erwinia* sp. e similares ao gênero Rhizobiaceae) (Gonçalves et al., 2008; Santos et al., 2010; Siviero et al., 2016a; Ferraz et al., 2018; Gonçalves, 2005), manchas de fungos (*Coniella fragariae*, *Cylindrocladium* spp.) (Silva et al., 2007; Siviero et al., 2015a, 2016a, 2016b) e murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) (Sivieiro et al., 2015b, 2016a). Maiores detalhes sobre as doenças bióticas de impacto econômico nos plantios de eucalipto em território brasileiro são encontrados em capítulo sobre essa temática, também presente neste livro.

No que se refere à ocorrência de doenças abióticas em ambientes de Cerrado, foram conduzidas avaliações dos efeitos do distúrbio fisiológico, também denominado de pau-preto ou gomose em *E. grandis* e *E. pilularis* (Moura et al., 1990, 1992, 1995b, 1996a, 1997; Vale et al., 1997). A ampla rede experimental da Região Nordeste permitiu maior compreensão do comportamento de diferentes espécies, procedências, progênies e/ou genótipos sob intensa deficiência hídrica. Detalhes sobre a ocorrência de seca de ponteiros em eucaliptos foram apresentados por Cipriani et al. (2012b). Maiores informações sobre as doenças abióticas de relevância na cultura do eucalipto em território brasileiro são encontradas em capítulo sobre esse tema neste livro.

A partir da disseminação dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, passaram a ser observadas injúrias em eucalipto provocadas pelo gado. Informações sobre esse assunto foram descritos por Silva et al. (2017c).

Quanto aos insetos de importância econômica para a cultura do eucalipto nas novas fronteiras, foram realizadas descrições das espécies, dos locais de ocorrências, dos danos causados e/ou das formas de monitoramento e de controle de diversos insetos, como *Blastopsylla occidentalis (*psilídeo), *Glycaspis brimblecombei* (psilídeo-de-concha) (Campelo et al., 2014; Santana, 2005), *Costalimaita ferruginea* Fabricius (besouro-amarelo-do-eucalipto) (Lunz; Azevedo, 2011; Santos; Gonçalves, 2014; Santos et al., 2016), *Stiphra robusta* (mané-magro ou bicho-de-pau) (Moraes et al., 1981, 1983), insetos das Famílias Thripidae, Cicadellidae e Psyllidae (Senado et al., 2015) e Eulophidae (vespa-da-galha) (Lunz et al., 2014). Maiores detalhes sobre os principais insetos-pragas de importância na cultura do eucalipto no Brasil são apresentados em outro capítulo dessa publicação.

O uso do óleo essencial puro de *Eucalyptus* sp. foi eficaz no controle do moleque da bananeira ou broca do rizoma (*Cosmopolites sordidus* – Coleoptera, Curculionidae) (Conceição et al., 2015). Foi também investigada a eficiência do óleo essencial de *Eucalyptus staigeriana* sobre adultos de *Stomoxys calcitrans* (mosca de estábulos) (Celestino et al., 2009).

Avanços obtidos ou em andamento:

- Identificação, avaliação e manejo de doenças bióticas e abióticas e, também, de insetos-pragas de importância econômica para a cultura do eucalipto.
- Desenvolvimento de metodologias visando à identificação ou mitigação de riscos associados à ocorrência de fatores bióticos e abióticos, em uma determinada espécie ou região.
- Disponibilização de plataforma digital gratuita com acervo organizado de dados e de informações acerca de doenças (bióticas e abióticas) e insetos de importância econômica nos cultivos de eucalipto.

Políticas públicas para o desenvolvimento ordenado da cadeia produtiva do eucalipto

Além das ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação, outro eixo de atuação da Embrapa é gerar informações que propiciem o embasamento técnico para a formulação de políticas públicas voltadas ao setor florestal. Ao longo dos anos, seguindo a lógica da indissocialidade entre as pesquisas e as políticas públicas, a Embrapa tem buscado atuar ativamente junto aos órgãos governamentais e às demais entidades

ligadas ao setor florestal, na sintetização de informações, na elaboração de diretrizes de desenvolvimento da cadeia produtiva de florestas plantadas, na elaboração de planos estratégicos, dentre outras.

As contribuições buscam oferecer apontamentos e/ou respostas às várias demandas da sociedade, de forma a proporcionar um desenvolvimento territorial sustentável. Assim, as ações desenvolvidas com o eucalipto pela Embrapa buscam o desenvolvimento sob quatro aspectos distintos e complementares, a saber: ambiental, econômico, social e político-institucional, com foco na geração de produtos, no mercado, na integração entre os elos da cadeia produtiva, no aumento da competitividade e na sustentabilidade.

Avanços obtidos ou em andamento

- Sistematização de informações para o direcionamento de políticas públicas ligadas à cadeia produtiva de eucalipto, dentre outras espécies, em diferentes estados situados nas novas fronteiras das florestas plantadas (Shimizu et al., 2007, Drumond, 2012a; Reis et al., 2015a, 2015b, 2017, 2018; Reis; Moraes, 2015).
- Realização de estudos de caracterização da cadeia produtiva do eucalipto em diferentes pólos de produção, em diversas localidades nas novas fronteiras das florestas plantadas (Moreira et al., 2019).
- Estudos prospectivos de demandas tecnológicas para produção de eucalipto em diferentes localidades, nas novas fronteiras das florestas plantadas.
- Determinação de impactos socioeconômicos e ambientais da cadeia produtiva do eucalipto em diferentes localidades, nas novas fronteiras das florestas plantadas.
- Elaboração de ações integradas com instituições públicas e privadas, para desenvolvimento de planejamento estratégico da eucaliptocultura nas novas fronteiras da silvicultura.
- Atuação em comissões/comitês gestores multi-institucionais, por meio do fornecimento de informações técnicas e diretrizes com foco no desenvolvimento ordenado da cadeia produtiva do eucalipto, em vários estados nas novas fronteiras florestais.
- Participação de representantes da Embrapa em comissões organizadoras ou como apoiadora de diversos eventos (dias de campo, congressos, feiras, simpósios, workshops, dentre outros), com temática focada em eucalipto.
- Ministração de palestras e cursos voltados para atender demandas por informações sobre eucalipto.

Considerações finais

Observa-se que, de forma pioneira, foram implantados experimentos multidisciplinares, concebidos por especialistas de diversas áreas temáticas de pesquisas e em várias localidades das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, desde a década de 1970. Esses aspectos enaltecem o papel do Governo Federal e da Embrapa, na atuação como propulsores de pesquisas com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e antevendo cenários futuros de desenvolvimento de novas fronteiras florestais. Assim, em conjunto com outras instituições públicas e privadas e, também, com produtores rurais, tem sido criado um clima propício à condução de pesquisas que vêm marcando épocas e garantindo ganhos ao conhecimento.

Referências

AGUIAR, B. L.; DEMICHELI, M.; TONINI, H.; MORALES, M. M.; CARNEVALLI, R. A. Qualidade do eucalipto clone H13 em sistemas integrados de produção de leite. In: SEMANA ACADÊMICA, 1.; JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 3.; SEMINÁRIO INTEGRADOR PIBID E TUTORIA; MOSTRA DE ENSINO E EXTENSÃO, 2014, Sinop. **Resumos** [...] Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122084/1/cpamt-2014-Resumos-1-semana-academica-sinop-123.pdf.

ALBINO, J. C.; CASER, R. L.; GUIMARAES, D. P.; MELO, J. T. de; MOURA, V. P. G. Seleção de espécies e procedências de essências nativas e exóticas na região dos cerrados. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1982/1985**. Planaltina, 1987. p. 349-350.

ALMEIDA, A. L. C.; MORAES, K. S.; CIPRIANI, H. N.; PASSOS, A. M. A. dos; CRUZ, P. G. da; SALMAN, A. K.; VARGAS, L. Relationship between the light intensity and the distance from eucalyptus strips in pasture. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126957/1/APME.pdf.

ALVES, V. B.; CECCON, G.; SALTON, J. C.; LUIZ NETO, A. L.; LEITE, L. F. Produtividade do consórcio milho-braquiária em integração com pecuária e floresta de eucalipto. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados, MS. **Estabilidade e produtividade**. Dourados, MS: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2013. 7 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94856/1/95.valdecirporutividade.pdf.

ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. Jundiaí: Companhia Paulista de Estradas de Ferro. 1961. 667 p. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/navarro/.

ANDRADE, G. de C.; LIMA, P. C. F.; VASCONCELOS, S. H. L. **Comportamento de espécies de eucalipto em Pedro Avelino, RN**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1990. 2 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56382/1/PA-62-1990.pdf.

ANDRADE, R. P. de; FARIA, E. F.; KRAMBECK, D. R.; LOPES, L. B. Recuperação de larvas de nematóides tricostrongilídeos em fezes de ovinos em sistemas de monocultivo e silvipastoril. In: SEMANA ACADÊMICA, 1.; JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 3.; SEMINÁRIO INTEGRADOR PIBID E TUTORIA; MOSTRA DE ENSINO E EXTENSÃO, 2014, Sinop. **Resumos** [...] Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 124. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122085/1/cpamt-2014-Resumos-1-semana-academica-sinop-124.pdf.

ANJOS, A. F. T. dos; SARTORI. W. W.; TONINI, H.; MORALES, M. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Performance and quality of wood in a clone of *Eucalyptus* in monoculture and silvipastoral system. **Revista Nativa**, v. 4, n. 2, p. 77-81, 2016. DOI: https://doi.org/10.14583/2318-7670.v04n02a04.

ARAUJO, A. R. de; FERREIRA, A. D.; MACEDO, M. C. M.; ALMEIDA, R. G. de; ZIMMER, A. H. Soil density of a clayey Oxisol under different ICLF systems in the Cerrado region of Brazil. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 1 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129431/1/ANY2.pdf.

ARAUJO, A. R. de; FERREIRA, A. D.; MACEDO, M. C. M.; TROLEIS, M. J. B.; ORTIZ, A. C. B. Resistência do solo à penetração em dois sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Ciência do solo**: para quê e para quem: anais. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93751/1/Alexandre-Romeiro-de-Araujo-2401. pdf.

ARAUJO, H. J. B. de; MAGALHAES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. de. Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 49-58, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100006.

ARAUJO, H. J. B. de; MAGALHAES, W. L. E.; OLIVEIRA, L. C. de; SA, C. P. de; CORREIA, M. **Durabilidade de estacas de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) tratadas com CCA após 60 meses de ensaio no campo experimental da Embrapa Acre, Rio Branco, Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2010. 8 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 176). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131863/1/23828.pdf.

ARAUJO, H. J. B. de; OLIVEIRA, L. C. de. Results of field test in the Amazon environment o durability of eucalyptus wood (*Eucalyptus* sp.) treated with CCA by vacuum-pressure process. In: CONGRESO FORESTAL DE CUBA, 5.; SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS AGROFORESTALES, 6.; ENCUENTRO INTERNACIONAL DE JÓVENES INVESTIGADORES, 5., 2011, Havana. **Memorias** [...]. Edición Especial de la Revista Forestal Baracoa, n. 1/2011. 6 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111898/1/23915.pdf.

ARAÚJO JÚNIOR, J. S. de; CIPRIANI, H. N.; MORAES, K. K. S.; SANTOS, A. A. S. da S.; DESMARET, A. O.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. Crescimento de eucalipto com diferentes adubações em Porto Velho, Rondônia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 32.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 16.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 14.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 11., 2016, Goiânia. **Rumo aos novos desafios**: [anais]. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. Fertbio 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158147/1/Eucaliptocultura-BB2C.pdf.

ARAÚJO JÚNIOR, J. S. de; MORAES, K. K. S.; SILVA, A. A. S. da; CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; SALMAN, A. K. Crescimento de um eucalipto clonado em função da posição no renque em um sistema silvipastoril em Porto Velho. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA RONDÔNIA, 6.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2015, Porto Velho, RO. **Anais** [...]. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2015. p. 62. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138984/1/AnaisVIEIPER2015p.62.pdf.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/119493/1/lfs.pdf.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; SILVEIRA, A. L. R. da; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E. Biological soil properties in integrated crop-livestock-forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160209, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160209.

AZEVEDO, C. M. B. C. de; VEIGA, J. B. da; YARED, J. A. G.; MARQUES, L. C. T. Avaliação de espécies florestais e pastagens em sistemas silvipastoris em Paragominas, Pará, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 7., 2009, Luziânia. **Diálogo e integração de saberes em sistemas agroflorestais para sociedades sustentáveis**. [Luziânia]: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais; [Brasília, DF]: EMATER-DF: Embrapa, 2009. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46206/1/02tema13.pdf .

AZEVEDO, M. G.; CRUZ, P. G. da; RIBEIRO, R. da S.; SALMAN, A. K.; CIPRIANI, H. N.; MARCOLAN, A. L. Sistemas integrados lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no sudoeste amazônico: produção e desempenho econômico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA RONDÔNIA, 9.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2018, Porto Velho. **Anais** [...]. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2018. p. 21. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188372/1/Resumo-EIPER-2018-Pedro.pdf.

AZEVEDO, M. G.; RIBEIRO, R. da S.; PASSOS, A. M. A. dos; CIPRIANI, H. N.; MARCOLAN, A. L.; CRUZ, P. G. da. Interceptação da luminosidade na soja em sistema de integração lavoura pecuária e floresta - ILPF. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA RONDÔNIA, 8.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 3., 2017, Porto Velho. **Anais** [...]. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2017. p. 14. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162349/1/Azevedo-etal-EIPER-8.pdf.

BAIA, A. L. P.; SOTTA, E. D.; MONTAGNER, A. E. A. D. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Amapá. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAPÁ, 2., 2016, Macapá. **Resumos** [...]. Macapá: Embrapa Amapá, 2016. p. 30. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152901/1/CPAF-AP-2016-Sobrevivencia-e-crescimento-inicial.pdf .

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. de; STONE, L. C. **Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta**: reference document crop-livestock-forestry integration. Brasília, DF: Embrapa, 2011a. 130 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103901/1/balbino-01.pdf .

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. **Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-florestal**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2012. 18 p. (International Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas, 138). Disponível em: http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/37d541b90cdb2e1685257a84005c6490/$file/jornal1-18-138.pdf.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA -SILVA, V.; MORAES, A.; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, 2011b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51887/1/46n10a00Prefacio.pdf.

BEHLING, M.; WRUCK, F.; ANTÔNIO, D. B. A.; MENEGUCCI, J. L. P.; PEDREIRA, B. C. e; CARNEVALLI, R. A.; CORDEIRO, L. A. M.; GIL, J.; FARIAS NETO, A. L.; DOMIT, L. A.; SILVA, J. F. V. Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). In: GALHARDI JUNIOR, A.; SIQUERI, F.; CAJU, J.; CAMACHO, S. (Ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2013/2014**. Rondonópolis: Fundação MT, 2013. p. 306-325. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/980992/integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf.

BELDINI, T. P.; MCNABB, K. L.; LOCKABY, B. G.; SANCHEZ, F. G.; NAVEGANTES-CÂNCIO, O.; OLIVEIRA, R. C. de. The effect of plantation silviculture on soil organic matter and particle-size fractions in Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1593-1602, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600008.

BERTONE, M. V. F. Plantar florestas colher desenvolvimento sustentável. **Revista Opiniões**, p. 8, jun./ago. 2011.

BORLINA FILHO, V. Florestas avançam para novas fronteiras. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 20 de out. 2011.

BOTELHO, S. de C. C.; BOTELHO, F. M.; ANTONIO, D. B. A.; WRUCK, F. J.; ALMEIDA, L. C. B. de; SANTOS, R. A. dos. Qualidade de grãos de soja cultivados em sistema de integração lavoura-floresta. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA, 7; SIMPÓSIO PARANAENSE DE PÓS-COLHEITA DE GRÃOS, 10, 2018, Londrina. **Anais** [...]. Londrina: ABRAPOS, 2018. p. 1057-1062. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/185591/1/2018-cpamt-silvia-botelho-qualidade-grao-soja-cultivada-sistema-ilf.pdf .

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 62.018, de 29 de dezembro de 1967**. Aprova o Regimento do Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal (IBDF). Disponível em: http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-62018-29-dezembro-1967-403230-publicacaooriginal-1-pe.html. Acesso em: 22 jan. 2019. Publicado originalmente no Diário da Câmara dos Deputados, p. 13145, em 29 dez. 1965.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 73.069, de 1 de novembro de 1973**. Aprova o Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal do Brasil (PRODEPEF), constitui a Comissão Nacional de Pesquisa Florestal e dá outras providências. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-73069-1-novembro-1973-421499-publicacaooriginal-1-pe.html. Acesso em: 22 jan. 2019. Publicado originalmente no Diário da Câmara dos Deputados, p. 11220, em 5 nov. 2011.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 5.106, de 2 de setembro de 1966**. Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1950-1969/L5106.htm. Acesso em: 22 jan. 2019. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil em 5 set. 1966.

CALIL, F. N.; CALASSA, C. H. Deposição de serapilheira em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Cerrado Brasileiro. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES Y AMBIENTALES, 17., 2016, Posadas. **Acta de conferencias y resúmenes**. [Eldorado]: Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales, 2016.

CAMPELO, F. T.; PITTA, R. M.; CORASSA, J. de N. Efeito de sistemas produtivos sobre a flutuação populacional de spondyliaspidinae em eucalipto. In: SEMANA ACADÊMICA, 1.; JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 3.; SEMINÁRIO INTEGRADOR PIBID E TUTORIA; MOSTRA DE ENSINO E EXTENSÃO, 2014, Sinop. **Resumos** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 129. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122138/1/cpamt-2014-Resumos-1-semana-academica-sinop-129.pdf.

CAMPOS, D. T. S.; STIEVEN, A. C.; WRUCK, F. J. Microbial biomass carbon dynamics in soil under crop-livestock-forest in northern of Mato Grosso, Brazil. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília: Embrapa, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126832/1/iLP11.pdf.

CARMO, J. F. A. do; SÁ, I. I. S.; MOURA, M. S. B. de; HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; SILVA, T. G. F. da. Potencial climático do Estado de Pernambuco para o plantio de Eucalyptus brassiana S. T. Blake. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 5., 2010, Petrolina. **Anais** [...]. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 33-39. (Embrapa Semiárido. Documentos, 228). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25501/1/Jose-Francisco-1.pdf.

CARMO, K.; BOURSCHEIDT, M.; BERBER, G.; DIAS, R.; TRIPLETT, E. W.; WEBER, O.; FERREIRA, A. Composição da comunidade bacteriana do solo sob sistemas integrados na região norte de Mato Grosso. In: SEMANA ACADÊMICA, 1.; JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 3.; SEMINÁRIO INTEGRADOR PIBID E TUTORIA; MOSTRA DE ENSINO E EXTENSÃO, 2014, Sinop. **Resumos** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 130. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122139/1/cpamt-2014-Resumos-1-semana-academica-sinop-130.pdf .

CARVALHO, A. P. da S.; GOMES, F. J.; PEDREIRA, C. G. S.; CABRAL, L. da S.; KIPERT, T. A.; PEDREIRA, B. C. e. Respostas fisiológicas do capim-marandu sob pastejo em lotação contínua em sistema silvipastoril. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA DO SUL DE MATO GROSSO, 2., Rondonópolis, 2018. **Anais eletrônicos** [...]. Mato Grosso: UFMT, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192942/1/2018-cpamt-bruno-pedreira-fisiologia-marandu-sistema-silvipastoril.pdf.

CASER, R. L.; ALBINO, J. C.; GUIMARAES, D. P.; MOURA, V. P. G.; MELO, J. T. de Formação de áreas produtoras de sementes de Eucalyptus. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1982/1985**. Planaltina, 1987. p. 351.

CASER, R. L. Alguns aspectos da introdução de espécies e procedências de Eucalyptus e Pinus no Brasil. In: SEMINÁRIO, 1980, Planaltina. [**Resumos**]. Planaltina, DF: CPAC, 1980. 2 p.

CASTRO, A. W. V. de. **Efeitos da adubação fosfatada em eucalipto, no Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1983a. 4 p. (Embrapa-UEPAE Porto Velho. Pesquisa em andamento, 47). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/698548/1/PA15650001.pdf.

CASTRO, A. W. V. de. **Introdução e seleção de espécies e procedências de eucalipto para a região de Porto Velho**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1983b. 4 p. (Embrapa-UEPAE Porto Velho. Pesquisa em andamento, 48). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59321/1/PA-1566-0001.pdf.

CASTRO, A. W. V. de; LOCATELLI, M. **Competição de espécies/procedências de eucalipto na região de Vilhena-RO**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1986. 3 p. (Embrapa UEPAE Porto Velho. Pesquisa em andamento, 94). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46778/1/PA-940001.pdf.

CASTRO, A. W. V. de; YARED, J. A. G.; ALVES, R. N. B.; SILVA, L. S.; MEIRELLES, S. M. L. B. **Comportamento silvicultural de espécies e procedências de *Eucalyptus* no cerrado do Amapá**. Macapá: Embrapa-UEPAE de Macapá, 1990. 5 p. (Embrapa-UEPAE de Macapá. Pesquisa em andamento, 74). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65110/1/AP-1990-comportamento-silvicultura.pdf.

CAVALCANTE, E.; OLIVEIRA, W. R. D.; CARVALHO, A. M. de; SILVA, R. R.; TIMÓTEO, L. G.; COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; CARNEIRO, R.; MELO, C.; ZANSÁVIO, A. M. de O. Emissão de N_2O em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e integração lavoura-pecuária. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Educar para preservar el suelo y conservar la vida en la tierra**. Cusco: Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco, 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122779/1/Congresso-Latinoamericano-Peruano-Ciencia-do-Solo-9.pdf.

CELESTINO, O. de O.; BRITO, L. G.; BARBIERI, F. da S.; BARROS, A. T. M. de. Avaliação da eficiência do óleo essencial de *Eucalyptus staigeriana* sobre adultos de Stomoxys calcitrans (LINNAEUS, 1758). In: SEMINÁRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2009, Porto Velho. **A pesquisa em Rondônia**: celebrando os 18 anos do Programa de Iniciação Científica: anais. Porto Velho: Edufro, 2009. p. 953-959. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55038/1/avaliacao-da-eficiencia-de-oleo.pdf.

CERQUEIRA, C. L.; MÔRA, R.; TONINI, H.; ARCE, J. E.; CARVALHO, S. de P. C. e; CIARNOSCHI, L. D. Funções de afilamento para eucalipto em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 4, p. 479-485, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/189852/1/7346-26394-1-PB.pdf.

CIPRIANI, H. N.; COSTA, M. F. G.; OTTONI, A. de M.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. Teores foliares de N, P e K em eucaliptos sob diferentes adubações em Porto Velho, Rondônia. In: REUNIÃO DE CIÊNCIA DO SOLO DO NÚCLEO NOROESTE, 2016, Rolim de Moura, RO. **Solos no Noroeste do Brasil**: propriedades e potencialidades. Rolim de Moura, RO: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158157/1/CIPRIANI-Resumo-IRCSNRNO.pdf.

CIPRIANI, H. N.; SALMAN, A. K.; PASSOS, A. M. A. dos; SCHMITT, E.; CRUZ, P. G. da; BOTELHO, F. J. E.; MORAES, K. K. S. **Uma planilha eletrônica gratuita para calcular a sombra projetada pelas árvores**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2016b. 4 p. (Embrapa Rondônia. Circular técnica, 145). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153440/1/CT-145-Planilha-de-Sombra.pdf.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; GODINHO, V. de P. C. **Crescimento inicial de clones de eucalipto em Vilhena, RO**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2013. (Embrapa Rondônia. Comunicado técnico, 338). 3 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117729/1/COT-388-eucalipto.pdf.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L.; CAMELO, J. C.; BATISTA, E. R. do N. Crescimento inicial de um eucalipto clonado sob diferentes adubações em Porto Velho, Rondônia. In: REUNIÃO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2., 2014, Porto Velho. **Anais** [...]. Porto Velho: Núcleo Regional Amazônia Ocidental da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. p. 192-197. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/115998/1/Resumo-HenriqueNery.pdf.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. Crescimento inicial de clones de eucalipto em função de doses de P e K em Porto Velho, Rondônia. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 1.; ENCONTRO DE LABORATÓRIOS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2012, Humaitá, AM. [**Anais**...]. Humaitá, AM: SBCS, 2012a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75465/1/Resumo-eucalipto-2-Henrique.pdf.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. **Seca de ponteiros do eucalipto em Rondônia**: considerações sobre a escolha de clones para o estado. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2012b. 4 p. (Embrapa Rondônia. Comunicado técnico, 378). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84364/1/cot378-eucalipto.pdf.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; PASSOS, A. M. A. dos; CARMO, C. C. A. do; VIEIRA, D. da S. Crescimento de eucaliptos em dois espaçamentos dentro do renque em sistema iLPF. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 193-195. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179327/1/NERY-Crescimento-EBS.pdf.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; PASSOS, A. M. A. dos; MORAES, K. S.; ALMEIDA, A. L. C.; REIS, M. C. dos. Initial growth of eucalypt clones in different spacings within strips. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126951/1/AKGD.pdf.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B.; COSTA, J. N. M.; MENDES, A. M. ARAUJO, L. V. de; VIEIRA JUNIOR, J. R. **Cultivo do eucalipto para madeira em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2015b. (Embrapa Rondônia. Sistemas de produção, 35). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1080777/1/SP35Sistemadeproduc807a771odoEucalipto.pdf.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima**: Brasil. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil-114/. Acesso em: 30 abr. 2019.

COELHO JUNIOR, J. M. L. P.; SILVA NETO, C. M. E.; SOUZA, K. R.; GUIMARAES, L. E.; OLIVEIRA, F. D.; GONCALVES, R. A.; MONTEIRO, M. M.; LIMA, N. L.; VENTUROLI, F.; CALIL, F. N. Volumetric models for *Eucalyptus grandis* x *urophylla* in a crop livestock: forest integration (CLFI) system in the brazilian Cerrado. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 1336-1343, 2016. DOI: https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10806.

COMÉRIO, J. Os impactos sociais e econômicos regionais de um projeto florestal. **Revista Opiniões**, p. 18, jun./ago. 2011.

CONCEIÇÃO, L. da S.; FONSECA, S. S.; FANCELLI, M.; BORGES, A. L. Atratividade do óleo essencial de eucalipto para *Cosmopolites sordidus*. In: JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 9., 2015, Cruz das Almas, BA. **Pesquisa**: para quê? para quem? resumos. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135590/1/Atratividade-do-oleo.pdf .

CONCEIÇÃO, M. C. G. da; MATOS, E. da S.; BIDONE, E. D.; CORDEIRO, R. C.; RODRIGUES, R. de A. R. Avaliação do estoque de carbono do solo em diferentes tipos de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 16., 2017, Armação dos Búzios. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2017b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171790/1/2017-cpamt-eduardo-matos-estoque-carbono-solo-diferentes-manejos.pdf.

CONCEIÇÃO, M. C. G. da; MATOS, E. da S.; BIDONE, E. D.; RODRIGUES, R. de A. R.; CORDEIRO, R. C. Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. **Agricultural Sciences**, v. 8, n. 9, p. 904-913, 2017a. DOI: https://doi.org/10.4236/as.2017.89066.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.

CORRÊA, A. R.; MONTANARI, R.; LAURA, V. A.; MELOTTO, A. M.; SILVA, E. N. S. da; PELLIN, D. M. P.; SANTOS, A. S. dos. Aspects of the silvopastoral system correlated with properties of a Typic Quartzipsamment (ENTISOL) in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 438-447, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20130691.

COSTA, M. de A. A.; SANTOS, V. A. H. F. dos; VIEIRA, C. V.; FARIAS NETO, A. L. de; MENEGUCI, J. L. P.; ZOLIN, C. A.; LULU, J.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Aspectos ecofisiológicos e de crescimento de *Eucalyptus urograndis* submetido à suplementação hídrica em plantios clonais. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 12, n. 1, p. 44-57, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140736/1/2015-Porfirio-RBN-Aspectos.pdf.

COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; DIAS, C. T. dos S.; IWATA, B. de F. Fertilization during the establishment of a *Eucalyptus camaldulensis* plantation in the northern Brazilian Amazon. **Revista Agro@mbienteOnline**, v. 6, n. 2, p. 91-101, 2012. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/72243/1/fertilizacao-eucalipto-Agroambiente.pdf.

DEMICHELI, M.; AGUIAR, B. L.; MORALES, M. M.; TONINI, H.; CARNEVALLI, R. A. Crescimento de clone de eucalipto em sistemas integrados de produção de leite. In: SEMANA ACADÊMICA, 1.; JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 3.; SEMINÁRIO INTEGRADOR PIBID E TUTORIA; MOSTRA DE ENSINO E EXTENSÃO, 2014, Sinop. **Resumos** [...]. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2014. p. 134. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130137/1/2014-Marina-SemanaAcademicaSinop-Crescimento.pdf. Acesso em: 2 maio 2019.

DEMICHELI, M.; MATIERO, S. C.; BEHLING, M.; ANTONIO, D. B. A.; MORALES, M. M.; CARNEVALLI, R. A. Produção de ramos de eucalipto clone H13 em sistemas integrados de produção de leite. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 2., 2013, Sinop. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 27. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95161/1/2013-Marina-JCEA-ProducaoRamos.pdf.

DIEL, D.; BEHLING, M.; FARIAS NETO, A. L. de; ISERNHAGEN, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 639-647, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000800008.

DIAS, T. C. C. da C. Unindo esforços. **Revista Opiniões**, p. 12, jun./ago. 2011.

DOMICIANO, L. F.; TSCHOPE, G. L.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P. de; TESK, C. R. M.; ABREU, J. G. de; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. da S.; PEDREIRA, B. C. e. Produtividade e composição morfológica do milho de segunda safra em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA DO SUL DE MATO GROSSO, 2., Rondonópolis, 2018. **Anais eletrônicos** [...]. Cuiabá: UFMT, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192947/1/2018-cpamt-bruno-pedreira-produtividade-morfologica-milho-2-safra-sistema-integrado.pdf.

DORNELES, J.; TONINI, H.; MORALES, M. M. Ajuste de modelos volumétricos para um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 4., 2015, Sinop. **Resumos** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142901/1/2015-M.-Morales-Ajustes-de-modelos-volumetricos.pdf.

DRUMOND, M. A.; BARROS, N. F. de; RODRIGUES, B. S. A.; FONTE, A. J. C. da; PASSOS, M. A. A. Efeito dos níveis de fósforo sobre o desenvolvimento do Eucalyptus urophylla na região de Itaporanga, SE. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: SBS: SBEF, 1993. v. 1, p. 243-244. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131464/1/7053-1.pdf.

DRUMOND, M. A.; COUTO, L. Uso da agrossilvicultura em áreas degradadas na Região Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAISES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho, RR. **Anais** [...]. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. p. 279-284. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176467/1/Congresso-Brasileiro-sobre-sistemas-agroflorestais-1994-p.-279-284.pdf.

DRUMOND, M. A. Espécies arbóreas potenciais para sistemas integrados de produção (ILPF) no Semiárido brasileiro. In: SANTOS, L. D. T.; MENDES, L. R.; DUARTE, E. R.; GLORIA, J. R. da; ANDRADE, J. M. de; CARVALHO, L. R. de; SALES, N. de L. P. (org.). **Integração lavoura-pecuária-floresta**: potencialidades e técnicas de produção. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2012b. p. 85-99. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177082/1/Integracao-Lavoura-Pecuarias-FlorestaPotencialidades-e-tecnicas-de-producao-p.85-99-2012.pdf.

DRUMOND, M. A. Florestas energéticas: espécies potencialidades para o Semiárido brasileiro. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA REALIDADE SEMIÁRIDA, 1.; SIMPÓSIO ALAGOANO SOBRE ECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO, 2., 2012, Arapiraca. **Os recursos hídricos, potencialidades e desenvolvimento socioeconômicos da região**: anais. Maceió: EDUFAL, 2012a. p. 206-233. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/970053/florestas-energeticas-especies-potencialidades-para-o-semiarido-brasileiro.

DRUMOND, M. A.; LIMA, A. Q.; LIMA, P. C. F. Revegetação da barragem de rejeito da Mineração Caraíba. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 26., 2003, Fortaleza. **Biodiversidade e conservação**: resumos. Fortaleza: UFC-CC, Departamento de Biologia, Herbário Prisco Bezerra EAC, 2003a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/26305/1/OPB311.pdf .

DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, V. R. de. Competição de espécies/procedências de eucaliptos no Sertão do Submédio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2., 2003, Porto Seguro. **Anais** [...]. Porto Seguro: SBMP; UFBA; Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/26296/1/OPB310.pdf.

DRUMOND, M. A.; MORGADO, L. B.; RIBASKI, J.; ALBUQUERQUE, S. G. de; CARVALHO FILHO, O. M. de. Contribuição da Embrapa Semiárido para o desenvolvimento dos sistemas agroflorestais no semiárido brasileiro. **Revista Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 145-153, 2004. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/186733/1/Agrossilvicultura-v.1-n.2-p.145-153-2004.pdf.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R.; CARVALHO, O. M. Comportamento silvicultural de espécies e procedências de Eucalyptus na região dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Sergipe. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 137-142, 1998. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176193/1/Separata-8612.pdf.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; RIBASKI, J. **Eucalipto no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. 42 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 276; Embrapa Florestas. Documentos, 297). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1058662/eucalipto-no-semiarido-brasileiro. Acesso em: 25 fev. 2019.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R.; RODRIGUES, B. S. A. Competição de espécies e procedências de Eucalyptus na região dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Sergipe. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...**= **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1. p. 101-105. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/131928/1/ConferenciaIufrosobresilviculturaemelhoramentodeeucaliptos1997v1p101105.pdf.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. Seleção de espécies/procedências do gênero Eucalyptus potenciais para o Semiárido do Brasil. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 2., 2006, La Serena, Chile. **Trabajos completos** [...]. La Serena: IUFRO; INFOR; FAO, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/34240/1/OPB703.pdf.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; TAVARES, J. A.; PEREIRA, L. G. R.; RIBASKI, J.; SA, I. B. Integração lavoura, pecuária e floresta na Chapada do Araripe, Pernambuco: resultados preliminares. In: WORKSHOP INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA EMBRAPA, 2009, Brasília, DF. **Resumos e palestras apresentadas**. Brasília, DF: Embrapa, 2009a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37968/1/Drumond-2009-1.pdf .

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; TAVARES, J. A.; SA, I. B.; MESQUITA FILHO, A. L. Efecto del espaciamiento sobre el desarrollo inicial del híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* en la Chapada do Araripe, Pernambuco, Brasil. In: CONGRESO FORESTAL MUNDIAL, 13., 2009, Buenos Aires. **Desarrollo forestal, equilibrio vital**. Buenos Aires: República Argentina: FAO, 2009b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177079/1/Efecto-del-espaciamento-sobre-el-desarrollo-inicial-del-hibrico-de-eucapyptus-grandis-x-e.-Camaldulensis-en-la-chapada-do-Araripe- Pernambuco-brasil.pdf.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; TAVARES, J. A.; SA, I. B.; MESQUITA FILHO, A. L. Efecto del espaciamiento sobre el desarrollo inicial del híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. brassiana* en la Chapada do Araripe, Pernambuco, Brasil. In: CONGRESO FORESTAL MUNDIAL, 13., 2009, Buenos Aires. **Desarrollo forestal, equilibrio vital**. Buenos Aires: República Argentina: FAO, 2009c. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177080/1/Efecto-del-espaciamiento-sobre-el-desarrollo-inicial-del-hibrico-de-eucapyptus-urophylla-x-E.-brassiana-en-la-Chapada-do-Araripe- Pernambuco-Brasil.pdf.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; TAVARES, J. A.; OLIVEIRA, V. R. de; SA, I. B.; PEREIRA, P. S.; NASCIMENTO, C. E. de S. Influência do preparo de solo no crescimento de híbridos de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe, Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 4., 2015, Petrolina. **Experiências e oportunidades para o desenvolvimento**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. (Embrapa Semiárido. Documentos, 262). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127995/1/122-2.pdf.

DRUMOND, M. A.; SA, I. B.; CUNHA, T. J. F.; CALIXTO JÚNIOR, J. T.; MELO, V. C. Documentação fotográfica do desempenho silvicultural de espécies arbóreas na recuperação de áreas degradadas pela deposição de rejeitos finos da mineração de cobre. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. **Experiências para mitigação e adaptação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/49796/1/Drumond.pdf.

DRUMOND, M. A.; SA, I. B.; OLIVEIRA, M. C.; LEITE, E. M. Seleccion de especies y procedencias del genero *Eucalyptus* para la region costera de Bahia, Brasil. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL IUFRO, 2001, Valdivia, Chile. **Desarrollando el eucalipto del futuro**: actas. Valdivia: IUFRO/INFOR, 2001. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/9074/1/OPB316.pdf.

DRUMOND, M. A.; TAVARES, J. A.; OLIVEIRA, V. R. de; RIBASKI, J. Productivity of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* hybrid in different plant spacing, at four year age, in the Chapada of Araripe, Pernambuco, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GUAVA AND OTHER MYRTACEAE, 3., 2012, Petrolina. **Abstracts** [...]. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012a. p. 97. (Embrapa Semiárido. Documentos, 247). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58502/1/Drumond-2012.pdf.

DRUMOND, M. A.; TAVARES, J. A.; RIBASKI, J.; OLIVEIRA, V. R. de. Productivity of *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus urophylla* hybrid in different plant spacing, at four year age, in the Chapada of Araripe, Pernambuco, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GUAVA AND OTHER MYRTACEAE, 3., 2012, Petrolina. **Abstracts** [...]. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012b. p. 98-99. (Embrapa Semiárido. Documentos, 247). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58504/1/Drumond1-2012.pdf.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Pesquisas florestais em andamento no Brasil (terceiro levantamento)**. Curitiba, 1987. 567 p.

FARIA, E. F.; LOPES, L. B.; KRAMBECK, D. dos R.; PINA, D. dos S.; CAMPOS, A. K. Effect of the integrated livestock-forest system on recovery of trichostrongylid nematode infective larvae from sheep. **Agroforestry Systems**, v. 90, n. 2, p. 305-311, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-015-9855-1.

FARIA, E. F.; KRAMBECK, D. R.; LOPES, L. B. Recuperação de larvas de nematóides tricostrongilídeos em sistemas de integração pecuária-floresta. In: SEMANA ACADÊMICA, 1.; JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 3.; SEMINÁRIO INTEGRADOR PIBID E TUTORIA, MOSTRA DE ENSINO E EXTENSÃO, 2014, Sinop. **Resumos** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 139. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122163/1/cpamt-2014-Resumos-1-semana-academica-sinop-139.pdf.

FARIAS, J. B.; SILVEIRA, A.; WANDSCHEER, R. B.; BEHLING, M. Desenvolvimento inicial das árvores em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mangium*. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5., 2016, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2017. p. 39-43. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174466/1/2016-cpamt-behling-desenvolvimento-arvore-povoamento-misto-urograndis-acacia-mangium-p39.pdf.

FERRAZ, H.; BADEL, J. L.; DA SILVA GUIMARÃES, L. M.; REIS, B. P.; TÓTOLA, M. R.; GONÇALVES, R. C.; ALFENAS, A. C. *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov. causing bacterial leaf blight on eucalypt in Brazil. **The Plant Pathology Journal**, v. 34, n. 4, p. 269-285, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/189594/1/26755.pdf.

FERREIRA, A. D.; ALMEIDA, R. G. de; ARAUJO, A. R. de; MACEDO, M. C. M.; BUNGENSTAB, D. J. Yield and environmental services potential of eucalyptus under ICLF systems. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129466/1/ANYW.pdf.

FERREIRA, A. D.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. de; ARAUJO, A. R. de; BUNGENSTAB, D. J. Initial development of eucalyptus clones with potential for use in ICLF systems. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, DF, 2015b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140753/1/Initial-development-of-eucalyptus-clones-with-potential-for-use-in-ICLF-systems.pdf.

FERREIRA, A. D.; LAURA, V. A.; ARAUJO, A. R. de; PEDRINHO, D. R.; BUNGENSTAB, D. J.; MARTINS, J. L. F. Carbon sequestration potential by different eucalyptus genotypes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES IN AGRICULTURE, 2., 2016, Campo Grande, MS. **Proceedings** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2016a. p. 187-190. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 216). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154101/1/Carbon-sequestration-potential.pdf.

FERREIRA, A. D.; SERRA, A. P.; LAURA, V. A.; ORTIZ, A. C. B.; ARAUJO, A. R. DE; PEDRINHO, D. R.; CARVALHO, A. M. DE. Influence of spatial arrangements on silvicultural characteristics of three Eucalyptus clones at integrated crop-livestock-forest system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 19, p. 1734-1742, 2016b. DOI: https://doi.org/10.5897/AJAR2016.10990.

FERREIRA, A. D.; SERRA, A. P.; LAURA, V. A.; ORTIZ, A. C. B.; ARAUJO, A. R. de; PEDRINHO, D. R.; CARVALHO, A. M. de. **Influência de arranjos espaciais sobre as características silviculturais de três clones de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 25 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 232). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167378/1/Influencia-de-arranjos-espaciais-sobre-caracteristicas-silviculturais.pdf.

FERREIRA, A. D.; SERRA, A. P.; MELOTTO, A. M.; BUNGENSTAB, D. J.; LAURA, W. A. Manejo de árvores e propriedades da madeira em sistema de ILPF com eucalipto. In: BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**: a produção sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 121-142. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159824/1/Sistemas-de-Integracao-Lavoura-Pecuaria-Floresta-2ed.pdf.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da (org.). **Formação de povoamentos florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 109 p. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131646/1/formacao-de-povoamento-florestais.pdf.

FERREIRA, E. M.; SANTANA, A. V.; CALIL, F. N.; TSAI, H. M.; COSTA, L. F. S. Resistência à penetração em solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, pasto convencional e mata nativa do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 2675-2680, 2014. Disponível em: http:// www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/ resistencia.pdf.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...**= **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1. p. 101-105. v. 1. p. 14-34.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus* no Brasil**: zoneamento climático e guia para identificação. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FRANÇA, A. N.; FERREIRA, A. D.; MACEDO, M. C. M.; ARAUJO, A. R. de; GONÇALVES, A. A. Índice de produtividade da lavoura de soja consorciada com eucalipto em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. **Anais** [...]. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2013. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/97463/1/INDICE-DE-PRODUTIVIDADE-DA-LAVOURA-DE-SOJA...pdf.

FREITAS, M. Desafios das novas fronteiras florestais no Brasil. In: CONGRESSO FLORESTAL DO TOCANTINS, 1., 2010. Palestra.

FROTA, P. C. E.; LIMA, P. C. F.; PESSOA, P. F. A. de P. Comportamento de espécies de Eucalyptus na região do "carrasco" da Ibiapaba em condições de riscos. In: SEMINARIO DE PESQUISA AGROPECUARIA DO PIAUI, 6., 1992, Teresina. **Anais** [...]. Teresina: Embrapa-UEPAE de Teresina, 1992. p. 255-261. (Embrapa-UEPAE de Teresina. Documentos, 11). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176667/1/7209-p.255-261.pdf.

GALVÃO, A. P. M. (org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 351 p.

GARCIA, L. F.; MELLO, A. C. T.; CARNEVALLI, R. A.; SHIRATSUCHI, L. S.; PEDREIRA, B. C. e; LOPES, L. B.; CRESTANI, S. Spatial distribution of dung in integrated dairy systems. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 51., 2014, Barra dos Coqueiros. **A produção animal frente às mudanças climáticas e tecnológicas**: anais... Barra dos coqueiros: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116171/1/cpamt-2014-shozo-distribution-of-dung-integrated.pdf.

GAMARRA, E. L.; MORAIS, M. da G.; ALMEIDA, R. G. de; PALUDETTO, N. A.; PEREIRA, M.; OLIVEIRA, C. C. de. Beef cattle production in established integrated systems. **Semina**: Ciências Agrárias, v. 38, n. 5, p. 3241-3252, 2017. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167393/1/Beef-cattle-production-in-established-integrated-systems.pdf.

GIMENEZ, M. A.; REIS, J. C. dos; KAMOI, M. Y. T.; MICHETTI, M. Ferramenta eletrônica como instrumento de avaliação da viabilidade econômico-financeira de sistemas de produção agropecuários. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5., 2016, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2017. p. 78-82. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174483/1/2016-cpamt-reis-instrumento-avaliacao-viabilidade-financeira-sistemas-agropecuarios-p78.pdf.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação)**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série técnica, 11).

GOMES, I. A. S.; OLIVEIRA, M. E. C.; VERAS, C. A. G.; LAMEIRA, H. de O.; GOMES, A. L. S. O aumento da produção de carvão vegetal por meio da carbonização em alta pressão. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 8., 2013, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: CIPA, 2013. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96945/1/Trabalho-Bioenergia.pdf.

GONÇALVES, A. A.; ARAUJO, A. R. de; FERREIRA, A. D.; MACEDO, M. C. M.; FRANÇA, A. N. Disponibilidade forrageira de *Panicum maximum* cv massai em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. **Anais** [...]. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2013. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/97467/1/DISPONIBILIDADE-FORRAGEIRA...pdf.

GONÇALVES, R. A.; ARRUDA, E. M.; RAMOS, T. V.; GONÇALVES. G. M. O.; SILVA-NETO, C. M.; CALIL, F. N. Teor de matéria orgânica no solo em diferentes sistemas de manejo. In: REUNIÃO CENTRO-OESTE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2015, Barra do Garças. **Anais** [...]. [S.l.: s.n.], 2015a.

GONÇALVES, R. A.; SILVA-NETO, C. M.; ARRUDA, E. M.; RAMOS, T. V.; GONÇALVES. G. M. O.; CALIL, F. N. Melhoria na fertilidade do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). In: CONGRESSO FLORESTAL NO CERRADO, 2.; SIMPÓSIO SOBRE EUCALIPTOCULTURA, 4., 2015, Goiânia. **Anais** [...]. [S.l.: s.n.], 2015b.

GONÇALVES, R. A.; SILVA NETO, C. M. E.; GUIMARÃES, L. E.; OLIVEIRA, F. D.; SOUZA, K. R.; CALIL, F. N. Biomass production in different eucalyptus compartments in a crop livestock. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS, 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015c. p. 263-263.

GONCALVES, R. C. Etiologia da mancha foliar bacteriana do eucalipto no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p. 33-34, 2005. Suplemento. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158012/1/15178.pdf.

GONÇALVES, R. C.; LAU, D.; OLIVEIRA, J. R.; MAFFIA, L. A.; CASCARDO, J. C. M.; ALFENAS, A. C. Etiology of bacterial leaf blight of *eucalyptus* in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 3, p. 180-188, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-567620080003000.

GUIMARAES, D. P.; CASTRO, L. H. R. **Análise de funções de crescimento**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1986. 21 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa, 29). Disponível em: https://www.embrapa.br/cerrados/busca-de-publicacoes/-/publicacao/549448/analise-de-funcoes-de-crescimento.

GUIMARAES, D. P.; CASTRO, L. H. R. **Novos métodos para a estimativa do volume de árvores em pé**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1982. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa, 12). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98718/1/bolpd-12.pdf.

GUIMARAES, D. P. **Predição do crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis***. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1982a. 11 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa, 9). Disponível em: https://www.embrapa.br/cerrados/busca-de-publicacoes/-/publicacao/549438/predicao-do-crescimento-volumetrico-de-eucalyptus-grandis.

GUIMARAES, D. P. **Variação do modelo de Schumacher & Hall para ajuste de equações volumétricas**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1986. 18 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa 28).

GUIMARAES, D. P. **Uso de curva de potência na determinação de séries relativas contínuas de forma para espécies florestais**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1982b. 24 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa, 14). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98720/1/bolpd-14.pdf.

GUIMARÃES, L. E.; CALIL, F. N.; SILVA NETO, C. M. E. Litter comparison on two different crop-livestock-forest systems with different stages of development. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS, 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

HARMATIUK, J.; MENDES, A. M.; SALMAN, A. K.; VIEIRA, A. H. Interação calagem e fósforo em clones de eucalipto. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA RONDÔNIA, 2., 2011, Porto Velho. **Anais** [...]. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2011. 70 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 146). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/70891/1/33-doc146-2encontroiniciacaoapesquisa-1.pdf.

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V. de; KODAMA, A. S.; LAVORANTI, O. Programa de melhoramento de eucalipto na Embrapa. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...=Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1. p. 377-385.

HOLSCHUCH, S. G.; GOMES, F. J.; CAVALLI, J.; JORGE, Y. R.; MATIERO, S. C.; PEREIRA, D. H.; CARNEVALLI, R. A.; PEDREIRA, B. C. e. Características estruturais de capim marandu em pastagem a pleno sol e em silvipastoril. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 9., 2014, Ilhéus. **Produção animal**: novas diretrizes. Ilhéus: SNPA, 2014. 3 f. CNPA 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116197/1/cpamt-2014-pedreira-estrutura-capim-marandu-pastagem-sol-silvipastoril.pdf.

HUBNER, S.; GLATZLE, S.; GIESE, M.; ALMEIDA, R. G. de; ASCH, F. Field water dynamics in integrated systems in the Brazilian. In: TROPENTAG 2017: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT, Bonn, 2017. **Future agriculture**: social-ecological transitions and bio-cultural shifts: book of abstracts. Bonn: Universität of Bonn, 2017. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167330/1/Field-Water-Dynamics-in-Integrated-Systems.pdf.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **IBÁ**: Indústria Brasileira de Árvores. Brasília, DF, 2018. 6 p. Relatório Ibá 2018. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2017. Disponível em: https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf. Acesso em: 30 abr. 2019.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2017**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2017. Acesso em: 30 abr. 2019.

IBGE. **Semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e. Acesso em: 20 fev. 2019.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL. **Brasil móveis 2015**: relatório setorial da indústria de móveis no Brasil. São Paulo, 2015. v. 10. 280 p.

IKEDA, F. S.; POLTRONIERI, F.; COSTA, W. B. da; AZEVEDO, R. C. Comunidade de plantas daninhas em relação à distância de renque de eucalipto em sistema de ILPF em Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 30., 2016, Curitiba. **Conhecimento e tecnologia a serviço do agricultor**: anais. Curitiba: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2016a. p. 50. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148966/1/2016-cpamt-ikeda-comunidade-plantas-distancia-renque-ilpf.pdf.

IKEDA, F. S.; POLTRONIERI, F.; COSTA, W. B. da; SARAIVA, M. V.; AZEVEDO, R. C. Levantamento de comunidade de plantas daninhas em propriedades rurais com sistemas integrados em Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 30., 2016, Curitiba. **Conhecimento e tecnologia a serviço do agricultor**: anais. Curitiba: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2016b. p. 132. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148969/1/2016-cpamt-ikeda-comunidade-plantas-daninhas-sistemas-integrados.pdf.

ILPF em números. [Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2016]. 12 p. Folder. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/ bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf.

ILPF em números: região 02 - MT, GO e DF. [Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2017]. 16 p. Folder. Disponível em: http:// ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157581/1/2017- cpamt-ilpf-emnumeros-reginal-2.pdf.

INÁCIO, J. V. L.; IKEDA, F. S.; MENEGATTI, L.; HELOILA, T.; BIANCHIN, K. Seletividade de atrazine com e sem óleo mineral em diferentes estádios de desenvolvimento de milho silagem e braquiária-ruziziensis com sombreamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE PLANTAS DANINHAS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO TROPICAL, 1.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL AMAZÔNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS, 4., 2015, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140990/1/2015-cpamt-ikeda-atrazine-milho-silagem-brachiaria-sombreamento.pdf.

JORGE, Y. R.; GOMES, F. J.; CAVALLI, J.; FARIAS NETO, A. L. de; CARNEVALLI, R. A.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. e. Produção e características morfológicas de capim Marandu em função da face de exposição e distância do renque. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 24., 2014, Vitória. **A zootecnia fazendo o Brasil crescer**: anais... Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2014. 3 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116206/1/cpamt-2014-pedreira-morfologia-capim-marandu-exposicao-renque.pdf.

KANASHIRO, M.; YARED, J. A. G.; MARQUES, L. C. T.; BRIENZA JUNIOR, S. **Ensaio comparativo de espécies/procedências do gênero Eucalyptus e Pinus**. Belém: Embrapa-CPATU, 1983. 3 p. (Embrapa-CPATU. Pesquisa em andamento, 109). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57628/1/CPATU-PA109.pdf.

KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G. de; MESQUITA, E. E.; OLIVEIRA, C. C. de; ALVES, F. V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 12, p. 1933-1941, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s00484-016-1180-5.

KIPERT, T. A.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P. de; SILVA, F. S. da; CARVALHO, A. P. da S.; CABRAL, L. da S.; RODRIGUES, R. de A. R.; PEDREIRA, B. C. e. Variações diárias nas emissões de metano entérico por novilhos nelore em sistemas integrados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 55.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 28., 2018, Goiânia. **Construindo saberes, formando pessoas e transformando a produção animal**: anais. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia; Brasília, DF: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192959/1/2018-cpamt-bruno-pedreira-variacao-emissao-metano-enterico-nelore-sistema-integrado.pdf.

LANGE, A.; WRUCK, F. J.; BEHLING, M.; CAMPOS, C. I.; CAVALLI, E. The third year of an integrated crop-livestock-forest system at the AmazonBiome: soybean. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 172. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141114/1/CNPAF-2015-fjw.pdf.

LEITE, N. B. Novas fronteiras: desafios e oportunidades. **Revista Opiniões**, p. 5, jun./ago. 2011.

LIMA, A. Q.; LIMA, P. C. F.; DRUMOND, M. A. Recuperação de áreas degradadas da mineração Caraíba. In: SEMINÁRIO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA MINERAÇÃO, 1., 2003, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: SICM/COMIN, 2003. p. 73-78. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176765/1/Seminario-da-sustentabilidade-ambiental-da-mineracao-p.73-78-2003.pdf.

LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, V. R. Espécies e procedências do gênero Eucalyptus para a região do Espinhaço Meridional da Bahia. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings...=Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v.1, p. 151-156. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/132450/1/MelhoramentodoEucaliptos.pdf.

LIMA, P. C. F.; PIRES, I. E. **Ensaio de procedências de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh em Petrolina, PE**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, 33). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56073/1/PA-33-1985.pdf.

LIMA, P. C. F.; SOUZA, S. M.; BEZERRA, A. N. **Comportamento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh aos 36 meses de idade em Souza, PB**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, 37). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46628/1/PA-37-1985.pdf.

LIMA, P. C. F. Tree productivity in the Semiarid zone of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 16, p. 5-13, 1986. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-016-1021-x.

LIMA, R. M. B. de; CUNHA, A. L. B. da. Determinação do estoque de carbono acima do solo da espécie *Eucalyptus* var. *urophylla* x *grandis* na Amazônia central. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 5., 2009, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 79-87. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111637/1/V-Jornada-IC-81-89.pdf.

LOPES, L. B.; ECKSTEIN, C.; PINA, D. S.; MONTEI, R. A. C. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 4, p. 755-761, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s11250-016-1021-x.

LOPES, L. B.; PEDREIRA, B. C. e; SANTOS, L. L. dos; BASTIANETTO, E.; RODRIGUES, D. S. **Dinâmica de nematóides gastrointestinais e desempenho de bovinos de corte em sistema pastoril e silvipastoril**. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018a. (Embrapa Agrossilvipastoril. Circular técnica, 3). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188233/1/2018-cpamt-luciano-lopes-nematoide-bovino-corte-sistema-silvipastoril.pdf.

LOPES, L. B.; PITTA, R. M.; ECKSTEIN, C.; PEDREIRA, B. C. e. **Biodiversidade de coleópteros associados à produção de bovinos em sistema silvipastoril e em sistema de pastejo convencional na região norte de Mato Grosso, Brasil**. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018b. (Embrapa Agrossilvipastoril. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 3). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188232/1/2018-cpamt-luciano-lopes-coleopteros-bovinos-sistema-silvipastoril-convencional.pdf.

LOPES, R. da S.; RODRIGUES, S. J. S. de C.; ALBUQUERQUE, M. P. F. de; VASCONCELOS, S. S. Estoque de carbono e densidade do solo em plantio de *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **O solo e suas múltiplas funções**: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144029/1/CBCS-2015-Resumo-Raissa.pdf.

LUNZ, A. M.; AZEVEDO, R. de. **Caracterização da ocorrência do besouro-amarelo, *Costalimaita ferruginea* (Fabricius) (Coleoptera: Chrysomelidae), em plantios de eucalipto no Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 5 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 229). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56815/1/COM-229.pdf.

LUNZ, A. M.; CALÁBRIA, K. C. L.; COSTA, V. A. **Registro da vespa-da-galha-do-eucalipto, *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae), no Pará**: descrição e recomendações. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 5 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 241). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/99397/1/COM-241.pdf.

MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; CARVALHO, M. T. de M.; WRUCK, F. J.; MACHADO, P. L. O. de A. Sub-surface soil organic carbon stock affected by tree lines in an oxisol under integrated crop-livestock-forestry in the Southern Amazon. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL ORGANIC CARBON, 2017, Rome. **Proceedings** [...]. Rome: FAO, 2017. p. 456-459. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170710/1/madari.pdf.

MAGALHÃES, C. A. de S.; ZOLIN, C. A.; LULU, J.; LOPES, L. B. **Índices de conforto térmico em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no ecótono Cerrado/Amazônia**. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018. (Embrapa Agrossilvipastoril. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1100525/1/2018cpamtciromagalhesconfortotermicosistemailpfcerradoamaznia.pdf.

MARANHAO, V. A. L.; SILVA, W. P. da; MARAFON, A. C.; RESENDE, M. A. da S.; SA, V. A. de. Variação longitudinal do poder calorífico de clones de *Eucalyptus* sp. In: CONGRESSO NORDESTINO DE ENGENHARIA FLORESTAL, 5.; SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL, 6., 2016, Bom Jesus. **Manejo florestal sustentável**: potencial do nordeste para florestas de produção: anais. Bom Jesus, PI: UFPI, 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147290/1/variacao-longitudinal-do-pc-em-eucalipto.pdf.

MARCOLAN, A. L.; MORAES, K. K. S.; CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; CAMELO, J. C. Relação entre altura e diâmetro de um eucalipto clonado em função da idade e de adubações em Porto Velho, Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **O solo e suas múltiplas funções**: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129879/1/Alaerto-1666.pdf.

MARQUES, L. C. T. Comportamento de três espécies florestais durante o estabelecimento de um sistema agrossilvipastoril no município de Paragominas, Pará. In: MESA REDONDA SOBRE RECUPERAÇÃO DE SOLOS, ATRAVÉS DO USO DE LEGUMINOSAS, 1991, Manaus. **Trabalhos e recomendações**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU/GTZ, 1992. p. 33-42. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 67). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63468/1/Doc67-p33.pdf.

MATOSO, S. C. G.; SALMAN, A. K. Fertilização orgânica em sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 519-526, 2016. DOI: https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.982.

MAURO, R.; PEREIRA, M.; AGIOVA, A.; ARAUJO, A. Study area characterization and preliminary results on GHG emissions in eucalyptus forest, Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GASES DE EFEITO ESTUFA NA AGROPECUÁRIA, 2., 2016, Campo Grande, MS. **Anais** [...]. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2016. (Gado de Corte. Documentos, 216). p. 97-99. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157662/1/Study-area-characterization.pdf.

MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; SILVEIRA, A. L. R.; MACHADO, P. L. O. A.; STONE, L. F.; SILVA, M. A. S.; WRUCK, F. J. Spatial and temporal variations of soil water in an integrated crop-livestock-forestry system. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126744/1/iLP2.pdf.

MELLO, A. C. T. de; CARNEVALLI, R. A.; SHIRATSUCHI, L. S.; PEDREIRA, B. C. E.; LOPES, L. B.; XAVIER, D. B. Improved grazing activity of dairy heifers in shaded tropical grasslands. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160316.

MENEGATTI, L.; IKEDA, F. S.; BOTTI, F.; FARIAS NETO, A. L. de. Caracterização florística de bancos de sementes em sistemas solteiros e integrados de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 29., 2014, Gramado. **A ciência das plantas daninhas em clima de mudanças**: anais. [Londrina]: SBCPD, 2014. 5 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/115952/1/cpamt-2014-ikeda-sementes-sistema-solteiro-integrado.pdf.

MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Efeito de procedências de *Eucalyptus camaldulensis* sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico do solo no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 17 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 142). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26774/1/bolpd_142.pdf.

MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Efeito de procedências de *Eucalyptus cloeziana* sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico em solo de cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 16 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 155). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/27990/1/bolpd_155.pdf.

MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Efeito de procedências de *Eucalyptus camaldulensis* sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico do solo no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 17 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 142). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26774/1/bolpd_142.pdf.

MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S. **Retorno ao solo de nutrientes de serrapilheira de *Eucalyptus camaldulensis* no cerrado do Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003a. 17 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 109). Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/25090/1/bolpd_109.pdf.

MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S. **Retorno ao solo de nutrientes de serrapilheira de *Eucalyptus cloeziana* no cerrado do Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003b. 16 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 91). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24973/1/bolpd_91.pdf.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A. **Sistemas silvipastoris para bovinos e ovinos**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2009. 36 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 178). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPGC-2010/13151/1/DOC178.pdf.

MICHETTI, M.; KAMOI, M. Y. T.; OZAKI, P. M.; REIS, J. C. dos; NASCIMENTO, M. C.; BARBOSA, N. F. Escolha de arranjos produtivos de integração Lavoura Pecuária-Floresta com base em indicadores econômico-financeiro no Norte de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 27., 2017, Santos. **Anais eletrônicos** [...]. Brasília, DF: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2017. Zootec 2017. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172339/1/2017-cpamt-julio-reis-arranjo-produtivo-ilpf-indicador-economico-mt.pdf.

MOCHIUTTI, S.; MEIRELLES, P. R. de L. Estabelecimento de clones de eucalipto em pastagens na região de cerrados do Amapá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2000, Manaus. **Sistemas agroflorestais**: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural: resumos expandidos. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 171-173. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62745/1/AP-2000-estabelecimento-clones-eucalipto.pdf.

MOCHIUTTI, S.; MEIRELLES, P. R. de L. Sistemas silvipastoris no Amapá: situação atual e perspectivas. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. da C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários**: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO, 2001. p. 77-99. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/991414/sistemas-silvipastoris-no-amapa-situacao-atual-e-perspectivas.

MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P. de; CABRAL, L. da S.; RODRIGUES, R. de A. R.; TORRES, R. C.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. e. Attractants for automated emission measurement (Greenfeed®) in pasture-based systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/rbz4720170190.

MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P. de; XAVIER, I. M.; RODRIGUES, J. A.; CABRAL, L. da S.; RODRIGUES, R. de A. R.; PEDREIRA, B. C. e. Adaptação de bovinos de corte ao greenfeed com diferentes atrativos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 2., 2016, Sinop. **Recuperação de pastagens**: anais. Cuiabá: Fundação Uniselva, 2016. p. 204-205. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153316/1/2016-cpamt-pedreira-adaptacao-bovino-corte-greenfeed-ilpf-204.pdf.

MORAES, G. J. de; PIRES, I. E.; SOUZA, S. M. de; RIBASKI, J.; OLIVEIRA, C. A. V. Resistência de espécies de eucalipto ao ataque de *Stiphra robusta* Mello-Leitão, Proscopiidae (Resultados preliminares). In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido. **Pesquisa florestal no Nordeste**: Programa Nacional de Pesquisa Florestal - CPATSA. Petrolina, 1981. 9 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/156987/1/MORAESG.J.1981.pdf.

MORAES, G. J. de; PIRES, I. E.; SOUZA, S. M. de; RIBASKI, J.; OLIVEIRA, C. A. V. Resistências de espécies de eucalipto ao ataque de *Stiphra* sp. (*Orthoptera proscopiidae*). **Silvicultura**, v. 8, n. 32, p. 626-628, 1983. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158809/1/1983-Moraes-Resistencia-2037.PDF.

MORAES, K. K. S.; CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; GODINHO, V. de P. C.; MARTENDA, J. C.; MOTA, E. B. Densidade básica e crescimento de eucaliptos em Vilhena, Rondônia. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA RONDÔNIA, 5., 2014, Porto Velho. **Anais** [...]. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2014. p. 50. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/137760/1/V-EIPERp50.pdf.

MORAES NETO, S. P. de. **Madeira de eucalipto para serraria**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2017. 55 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 340). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177927/1/Doc-340-biblioteca.pdf.

MORAES NETO, S. P. de; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; MACIEL, G. A. **Distribuição diamétrica e altimétrica do h**íbrido ***Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em sistema agrossilvipastoril**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2014a. 26 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 317). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116648/1/bolpd-317.pdf.

MORAES NETO, S. P. de; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, P. de. **Comparação de modelos de crescimento em altura de duas espécies de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2014b. 20 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 315). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116643/1/bolpd-315.pdf.

MORAES NETO, S. P. de; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MUNHOZ, D. J. de M.; GUIMARAES JUNIOR, R.; MARCHAO, R. L. **Modelos hipsométricos para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em sistema agrossilvipastoril**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 33 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 286). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75873/1/bolpd-286.pdf.

MORAES NETO, S. P. de; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; OLIVEIRA, P. de; GUIMARAES JUNIOR, R.; MACIEL, G. A. **Verificação da identidade de modelos hipsométricos em diversos arranjos de sistema agrossilvipastoril**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2012. 23 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 310). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107389/1/bolpd-310.pdf.

MORALES, M. M.; TONINI, H.; MENEGUCI, J. L. P.; ANTONIO, D. B. A.; WRUCK, F. J.; ELEUTÉRIO, M. D. Biomass and leaf area in Eucalyptus clones in crop-livestock-forestry systems: implications for pruning. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126807/1/2015-Marina-WCCLF-BiomassLeaf.pdf.

MOREIRA, G. M.; NEVES, J. C. L.; MAGALHÃES, C. A. de S.; FARIAS NETO, A. L. de; SAUER, G.; SILVA, J. F. V.; FERNANDES, R. B. A. Soil chemical attributes in response to tree distance and sun-exposed faces after the implantation of an integrated crop-livestock-forestry system. **Revista Árvore**, v. 42, n. 4, 2018a. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-90882018000400005.

MOREIRA, G. M.; NEVES, J. C. L.; ROCHA, G. C.; MAGALHÃES, C. A. de S.; FARIAS NETO, A. L. de; MENEGUCI, J. L. P.; FERNANDES, R. B. A. Physical quality of soils under a crop-livestock-forest system in the cerrado/amazon transition region. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, 2018b. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200013.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; REIS, C. A. F.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, V. L. E. de. **Análise de viabilidade econômica da produção de eucalipto para energia em Rio Verde, GO**. Colombo: Embrapa Florestas, 2019. 27 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 327). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194869/1/Livro-Doc-327-1654-final.pdf.

MOURA, V. P. G. A pesquisa com Eucalyptus e Pinus na região dos cerrados. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 7., 1989, Brasília, DF. **Estratégias de utilização**: anais. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1995. p.183-197. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/190988/1/digitalizar0683.pdf.

MOURA, V. P. G.; COSTA, S. M. de C. **Seleção de espécies e procedências de *Eucalyptus*, no eixo Campo Grande/Três Lagoas-MS, região de cerrados**. Planaltina: Embrapa CPAC, 1985. 33 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa, 23). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3270/selecao-de-especies-e-procedencias-de-eucalyptus-no-eixo-campo-grande-tres-lagoas-ms-regiao-de-cerrados.

MOURA, V. P. G.; MELO, J. T.; SILVA, M. A. Comportamento de procedências de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. aos nove e meio anos de idade, em Planaltina, DF, área de cerrado. **IPEF**, n. 46, p. 52-62, 1993.

MOURA, V. P. G.; MELO, J. T. de; GUIMARAES, D. P. Formação de áreas produtoras de sementes de *Eucalyptus* spp. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997a. p.180-181.

MOURA, V. P. G. **Ocorrência de distúrbios fisiológicos (pau-preto) em procedências de *Eucalyptus pilularis*, na região dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1990. 2 p. (Embrapa CPAC. Comunicado técnico, 57). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/99323/1/comtec-57.pdf.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus brassiana* S. T. Blake no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003a. 8 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 103). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/24716/1/cot103.pdf. Acesso em: 30 abr. 2019.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003b. 9 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 102). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/24720/1/cot102.pdf.

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2004. 12 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 111).

MOURA, V. P. G.; OLIVEIRA, J. B.; MILHOMEM, C. P. ***Eucalyptus ptychocarpa* F. Muell, uma espécie ornamental para o Cerrado**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000. 17 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de pesquisa, 11).

MOURA, V. P. G.; OLIVEIRA, J. B.; VIEIRA, V. de M. Avaliação de procedências de *Eucalyptus brassiana* S. T. Blake em Planaltina, Distrito Federal, área de Cerrado. **Revista IPEF**, n. 48/49, p. 87-97, 1995a. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap09.pdf. Acesso em: 6 maio 2019.

MOURA, V. P. G.; OLIVEIRA, J. B.; VIEIRA, V. de M. Influência da gomose do eucalipto (pau-preto) na rebrota de procedências de *Eucalyptus grandis*, em Planaltina, DF, região de cerrado. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, 1997b. p. 183-184.

MOURA, V. P. G.; OLIVEIRA, J. B.; VIEIRA, V. de M. Influência da gomose do eucalipto (pau-preto) na rebrota de procedências de *Eucalyptus grandis*, em Planaltina-DF, região de cerrado. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. **Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados**: anais... Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996a. p. 421-425.

MOURA, V. P. G. **Potencial e uso de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* de acordo com locais e usos.** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2001. 32 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos. 68). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86484/1/Potencial-de-Especies-de-Eucalyptus-e-Corymbia-de-acordo-com-locais-e-usos.pdf.

MOURA, V. P. G. Seleção de espécies e procedências de essências florestais nativas e exóticas na região dos cerrados. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1985/1987**. Planaltina, 1991. p. 226-230.

MOURA, V. P. G.; SILVA, M. A.; NASCIMENTO JUNIOR, I. C. **Influência da «gomose do eucalipto» na densidade básica da madeira em procedências de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1995b. 21 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa, 38).

MOURA, V. P. G.; SILVA, M. A.; SANTIAGO, J.; CASTRO, A. J. R. de. Comportamento e resistência de procedências de *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden à formação de veios de "kino" em Planaltina, DF, área de cerrado. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 24/25, p.19-35, 1992. Disponível: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4894/1/vmoura.pdf.

MOURA, V. P. G.; ZINN, Y. L.; OLIVEIRA, J. B. Resistência de procedências de *Eucalyptus pilularis* à formação de kino, no cerrado. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. **Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados**: anais... Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996b. p. 431-435.

NICOLI, C. M. L.; PACHECO, A. R.; REIS, C. F.; VENTUROLI, F. Income diversification through a crop-livestock-forest integration system in the Midwest Brazilian Region. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 7, n. 6, p. 374-385, 2017. DOI: https://doi.org/10.17265/2161-6264/2017.06.002.

NOGUEIRA, A. K. da S.; RODRIGUES, R. de A. R.; SILVA, J. J. N. da; BOTIN, A. A.; SILVEIRA, J. G. da; MOMBACH, M. A.; ARMACOLO, N. M.; ROMEIRO, S. de O. Fluxos de óxido nitroso em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1156-1162, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900015.

NUNES, W. A. G. de; OLIVEIRA, A. dos S.; NEIVA, A. M. Efeito da aplicação de fertilizante orgânico sobre o crescimento de plantas de *Eucalyptus urograndis*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 14.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 9.; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL, 1., 2012, Maceió. **A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola**: anais. Viçosa, MG: SBCS, 2012. Fertbio. 4 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66986/1/FERTBIO-efeito-walder.pdf.

OLIVEIRA, A. D. de; RIBEIRO, F. C.; FERREIRA, E. A. B.; SOARES, J. P. G.; SILVA, F. R. da C.; BISPO, O. B.; ZANSAVIO, A. M. de O.; CEOLIN, J. G. R. Variability of nitrous oxide and methane emissions from soils under Eucalyptus forests in the Cerrado (Brazilian savanna). In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília: Embrapa, 2015a. p. 310. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129972/1/34713.pdf.

OLIVEIRA, A. D. de; RIBEIRO, F. C.; SOUSA, C. A. N. de; PINHEIRO, L. de A.; MOURA, C. H. P.; MULLER, A. G.; CEOLIN, J. G. R.; SOARES, J. P. G. Emissão de óxido nitroso e metano em florestas plantadas e vegetação nativa do Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras. **Agrometeorologia no século 21**: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: anais. Lavras: UFLA, 2015b. p. 2388-2392. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140440/1/5779.pdf.

OLIVEIRA, C. M.; NASCIMENTO, A. F. do; HYDALGO, R. I.; MOMBACH, M.; RODRIGUES, R. de A. R. Emissão de gases de efeito estufa do solo de monocultivos e da integração lavoura-pecuária-floresta na Amazônia mato-grossense. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5., 2016, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2017. p. 110-113. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174499/1/2016-cpamt-nascimento-gases-efeito-estufa-solo-monocultura-sistema-ilpf-p110.pdf.

OLIVEIRA, T. K. de; LUZ, S. A. da; SANTOS, F. C. B. dos; LESSA, L. S. Crescimento de mogno e eucalipto como cercas vivas no Acre, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 5., 2007, Guarapari. **Agroecologia e territórios sustentáveis**: anais. Guarapari: ABA Agroecologia: Incaper, 2007. 4 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/190764/1/26761.pdf.

OLIVEIRA, T. K.; LUZ, S. A.; SANTOS, F. C. B. dos; OLIVEIRA, T. C.; LESSA, L. S. **Experiências com implantação de unidades de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) no Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2012. 43 p. (Embrapa Acre. Documentos, 126). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93819/1/24489.pdf.

OLIVEIRA, V. R. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; SANTOS, P. E. T. dos. ***Eucalyptus crebra***: espécie com potencial energético para a região semiárida brasileira. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Instruções técnicas, 94). 4 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31842/1/INT94.pdf.

OLIVEIRA, V. R.; DRUMOND, M. A. Avaliação de procedências de *Eucalyptus microtheca* F. Muell em Petrolina, PE. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 54.; REUNIÃO DE BOTÂNICOS DA AMAZÔNIA, 3.; 2003, Belém. **Resumos** [...]. Belém: SBB; UFRA; Museu Paraense Emílio Goeldi; Embrapa Amazônia Oriental, 2003.

OLIVEIRA, V. R.; LIMA, P. C. F. **Ensaio de procedências de *Eucalyptus crebra* F. Muell em Petrolina, PE**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1990. 2 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, 61). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56142/1/PA-61-1990.pdf.

PACHECO, A. R.; CHAVES, R. Q.; NICOLI, C. M. L. Integration of crops, livestock, and forestry: a system of production for the Brazilian Cerrados. In: HERSHEY, C. H.; NEATE, P. (Ed.). **Eco-efficiency**: from vision to reality. Cali: CIAT, 2013. p. 51-61. (Issues on tropical agriculture). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/ item/84508/1/52.pdf.

PACHECO, A. R.; NICOLI, C. M. L.; CALIL, F. N.; REIS, C. F.; MORAES, A. da C. **Uma década de inovação tecnológica em integração lavoura-pecuária-floresta na Fazenda Boa Vereda**. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. 16 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 392). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155548/1/CT-392-Cristiane-Reis.pdf.

PACHECO, A. R.; REIS, C. F.; MORAES, A. da C. **Implantação da unidade de referência tecnológica de integração pecuária leiteira e floresta na Fazenda Santa Bárbara, em Quirinópolis, Goiás**: etapa 1. Colombo: Embrapa Florestas, 2019. 16 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 432). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198771/1/CT-432-1667-final.pdf.

PACHECO, A. R.; REIS, C. F.; MORAES, A. da C. **Implantação da unidade de referência tecnológica de integração lavoura-pecuária-floresta na Fazenda Tamburi, em Nova Crixás, Goiás**: etapa 1. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 9 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 403). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163752/1/CT-403-Cristiane-Reis.pdf.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FARDIN, A. E.; SANTOS, A. M.; REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos; MACHADO, A. M.; COIMBRA, G. R. **Base genética de melhoramento de eucaliptos e corimbias no norte do Estado de Goiás**: resultados da cooperação técnica entre a Embrapa Florestas e a Anglo American Níquel Brasil – Codemin. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. (Embrapa Florestas. Documentos, 248). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/974614

PALUDZYSZYN FILHO, E.; OLIVEIRA, U. S. de; SANTOS, P. E. T. dos; REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; LIMA, E. A. **Base de melhoramento genético de *Eucalyptus* e *Corymbia* em Rio Verde, Goiás**: resultados parciais da cooperação técnica entre Embrapa Florestas e Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano – COMIGO. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. (Embrapa Florestas. Documentos, 271). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1012158.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas**: resultados e perspectivas. Curitiba: Embrapa Florestas, 2011. 66 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 214). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47676/1/Doc214.pdf.

PASSOS, A. M. A. dos; AKER, A.; CIPRIANI, H. N.; MUNIZ, R.; SANTOS, L.; MARCILIO, V.; MOLINA, N.; MARCOLAN, A. L.; VARGAS, L.; CRUZ, P. G. da; SALMAN, A. K.; LIMA, F.; REIS, M.; ALMEIDA, A. Chlorophyll content on maize plants in a crop-livestock-forest system in the southwest of Brazilian Amazon. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129220/1/wcclf2015-chlorophyl.pdf.

PASSOS, A. M. A. dos; AKER, A.; SANTOS, L.; MUNIZ, R.; TOWNSEND, C. R.; MARCILIO, V.; MOLINA, N.; MARCOLAN, A. L.; CRUZ, P. G. da; SALMAN, A. K. Performance of soybean crop in a crop-livestock-forest system in the southwestern of Brazilian Amazon. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129217/1/wcclf2015-performance.pdf.

PASSOS, M. C. dos; OLIVEIRA, A. D. de; RIBEIRO, F. C.; LIMA, A. S.; SILVA, F. R. da C.; MENDONÇA, S. R. L. de. Emissão de óxido nitroso em latossolo sob cultivos de eucalipto e vegetação de Cerrado. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Educar para preservar el suelo y conservar la vida en la tierra**. Cusco: Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco, 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122642/1/Congresso-Latinoamericano-Peruano-Ciencia-do-Solo-10.pdf.

PEDREIRA, B. C. e; SILVA, N. M. F. da; MOMBACH, M. A.; DOMICIANO, L. F.; CARVALHO, P.; NASCIMENTO, H. B.; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S. Beef cattle production in crop-livestock-forestry systems. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 54., 2017, Foz do Iguaçu. **A new view of animal science**: challenges and perspectives: Proceedings. Foz do Iguaçu: SBZ, 2017. p. 276. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/ item/171622/1/2017-cpamt-bruno-pedreira-beef-cattle-production-in-iclfs.pdf.

PEREIRA, M.; GLATZLE, S.; SANTOS, V. A. C.; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; MORAIS, M. da G. Beef cattle production in Brazilian integrated systems. In: TROPENTAG, 2018: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT, Ghent, 2018. **Global food security and food safety**: the role of universities: book of abstracts. Ghent: Ghent University, 2018. 594 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/189449/1/Beef-cattle-production-in-brazilian.pdf.

PEDREIRA, B. C. e; SILVA, N. M. F. da; MOMBACH, M. A.; DOMICIANO, L. F.; CARVALHO, P.; NASCIMENTO, H. B.; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S. Beef cattle production in crop-livestock-forestry systems. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 54., 2017, Foz do Iguaçu. **A new view of animal science**: challenges and perspectives: Proceedings. Foz do Iguaçu: SBZ, 2017. p. 276. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171622/1/2017-cpamt-bruno-pedreira-beef-cattle-production-in-iclfs.pdf.

PEREIRA, N. C.; BRASIL, E. C.; BENTES, M. P. de M.; ARAÚJO, A. D. M. de; GAMA, M. A. P. Resposta de plantas de eucalipto à adubação fosfatada e nitrogenada no Sudeste paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2017, Belém, PA. **Amazônia e seus solos**: peculiaridades e potencialidades. Belém: SBCS, 2017. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169345/1/2363-31052017-213044.pdf.

PIRES, I. E. **Ensaio de progênie de *Eucalyptus citriodora* Hook em Petrolina, PE**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, 42). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48402/1/PA-42-1985.pdf.

PIRES, I. E.; FERREIRA, C. A. **Potencialidade do Nordeste do Brasil para reflorestamento**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982. 30 p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular técnica, 6). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184559/1/FL-02873.pdf.

PIRES, I. E.; LIMA, P. C. F.; DRUMOND, M. A. **Ensaio de procedências de *Eucalyptus alba* na região de Petrolina, PE**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985a. 4 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, 34). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88354/1/Pesquisa-em-Andamento-34.pdf.

PIRES, I. E.; SILVA, H. D.; RIBASKI, J. **Comportamento de *Eucalyptus tereticornis* Sm. em Petrolina, PE**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985b. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento; 40). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48430/1/PA-40-1985.pdf.

PIRES, I. E.; SOUZA, S. M.; DRUMOND, M. A. **Comportamento de *Eucalyptus microtheca* F. Muell. em Petrolina, PE**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985c. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, n. 41). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48433/1/PA-41-1985.pdf.

PIRES, I. E.; SOUZA, S. M. de; DRUMOND, M. A.; SILVA, H. D. da; LIMA, P. C. F.; RIBASKI, J. Teste de procedência de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh na região do Nordeste semi-árido brasileiro (resultados preliminares). In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. **Pesquisa florestal no Nordeste**: Programa Nacional de Pesquisa Florestal - CPATSA. Petrolina, 1981a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192485/1/PIRES-I.-E.-SOUZA-1981.pdf.

PIRES, I. E.; SOUZA, S. M. de; RIBASKI, J.; DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; SILVA, H. D. Ensaios de comportamento de *Eucalyptus* spp. no litoral da Bahia (resultados preliminares). In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido. **Pesquisa florestal no Nordeste**: Programa Nacional de Pesquisa Florestal - CPATSA. Petrolina, 1981b. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/semiarido/busca-de-publicacoes/-/publicacao/156989/ensaios-de-comportamento-de-eucalyptus-spp-no-litoral-da-bahia-resultados-preliminares.

PIRES, I. E.; SOUZA, S. M.; SILVA, H. D. da. **Comportamento de espécies e procedências de *Eucalyptus* em Petrolina, PE**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1985d. 4 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, 38). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48683/1/PA-38-1985.pdf.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. A integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 11., SEMINÁRIO MERCOSUL DA CADEIA DA MADEIRA, 2., 2012, Nova Prata. **Anais** [...]. [S.l.: s.n.], 2012.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Arborização de pastagens**: I – Procedimentos para introdução de árvores em pastagens convencionais. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 8 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 155). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/314627.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; BEHLING, M.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MULLER, M. D.; OLIVEIRA, T. K.; RIBASKI, J. RADOMSK, M. I.; TONINI, H.; PACHECO, A. R. Implantação e manejo do componente florestal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015, p. 81-102. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/ item/126941/1/2015-V.Porfirio-ILPF-Implantacao.pdf.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Ideótipo de espécie arbórea para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. **Sistemas agroflorestais**: a agropecuária sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 135-147. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120048/1/Sistemas-Agroflorestais-livro-em-baixa.pdf.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Ideótipo de espécie arbórea para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SAF's+10 SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. **Anais** [...]. [Campo Grande, MS: s.n., 2013]. 13 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85157/1/Porfirio-CSADS-Ideotipo.pdf.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L.; DERETI, R. M. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras**: implantação e manejo. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 48 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132912/1/2014-reimp-Cartilha-Arborizacao-2014.pdf.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MEDRADO, M. J. S. **Planejamento do número de árvores na composição de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 219). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/44877/1/com_tec219.pdf.

PULROLNIK, K.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F. dos. **Desrama artificial de florestas plantadas de eucalipto**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 34 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 249). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31533/1/doc-249.pdf.

PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MORAES NETO, S. P.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2010. 17 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 276). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75859/1/bolpd-276.pdf.

RAIMUNDO, M.; NASCIMENTO, H. L. B. do; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. e; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P.; DOMICIANO, L. F. Composição morfológica de pastos de capim marandu na entre-safra em sistemas iLPF. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 2., 2016, Sinop. **Recuperação de pastagens**: anais. Cuiabá: Fundação Uniselva, 2016. p. 220-221. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153349/1/2016-cpamt-pedreira-composicao-morfologica-pasto-marandu-entre-safra-ilpf-220.pdf.

RAMOS, T. V.; FERREIRA, J. L. S.; SILVA NETO, C. de M.; CALIL, F. N.; SILVA, I. C. S.; CARRIJO, U. M. Components of tree biomass in integrated crop-livestock-forest system. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 35, n. 5, 2019. DOI: https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v34i530185.

REIS, C. A. dos. Novas fronteiras: a visão da ABRAF. **Revista Opiniões**, p. 14, jun./ago. 2011.

REIS, C. A. F.; FERREIRA, T. Z.; MORAES, A. da C. **Caracterização da cadeia moveleira goiana**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015a. 32 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 286). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145913/1/Doc.-286-CaracterizacaoCadeiaMoveleira-CrisReis.pdf.

REIS, C. A. F.; MORAES, A. da C.; PEREIRA, A. V.; AGUIAR, A. V. de; SOUSA, V. A. de; BORGES, H. M. D. **Diagnóstico do setor de florestas plantadas no Estado de Goiás**. Brasília, DF: Embrapa, 2015b. 139 p. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/florestas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1036395/diagnostico-do-setor-de-florestas-plantadas-no-estado-de-goias.

REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, V. L. de; COSTA, A. C. da; DUARTE, M.; FARINA, S. S.; BARREIRA, S.; REZENDE, W. **Diretrizes para promoção do desenvolvimento florestal no Estado de Goiás**. Goiânia: SEBRAE, 2018. 20 p. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/florestas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1101912/diretrizes-para-promocao-do-desenvolvimento-florestal-no-estado-de-goias.

REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122876/1/Avaliacao.pdf.

REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, A. M.; REIS, B. da S. Avaliação de progênies de *E. crebra* no norte do Estado de Goiás. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas. **Anais**: resumos expandidos. Curitiba: Malinovsky, 2014b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117933/1/encontro-silvicultura-2014-pag-75.pdf.

REIS, C. A. F.; TALONE NETO, A.; BRUNCKHORST, A.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; PEREIRA, A. V.; MORAES, A. da C. **Cenário do setor de florestas plantadas no Estado de Goiás**. Colombo: Embrapa Florestas; [S.l.]: SEBRAE, [2017]. 79 p. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/florestas/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1080342/cenario-do-setor-de-florestas-plantadas-no-estado-de-goias.

REIS, C. F.; MORAES, A. da C. **Produção de madeira de florestas plantadas na região Centro-Oeste do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 31 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 287). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145914/1/Doc.-287-Producao-de-Madeira-CrisReis.pdf.

REIS, J. C. dos; PEREIRA, M. de A.; RICHETTI, A.; AMARO, G. C.; ARCO-VERDE, M. F. Análise econômico-financeira da estratégia de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHAO, R. L. (ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015c. p. 355-375. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/134894/1/35775.pdf.

REIS, J. C. dos; RODRIGUES, R. de A. R.; CONCEIÇÃO, M. C. G. da; MARTINS, C. M. S. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: uma estratégia de agricultura sustentável baseada nos conceitos da Green Economy Initiative. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n. 1, p. 58-73, 2016. DOI: https://doi.org/10.18472/SustDeb.v7n1.2016.18061.

RIBASKI, J.; OLIVEIRA, M. C. de; CRUZ, S. C. da. Avaliação de um sistema silvipastoril em região semiarida, envolvendo a consorciação de eucalipto com pastagens. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: SBS: SBEF, 1993. v. 1, p. 268-269. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/7954/1/OPB1403.pdf.

RIBEIRO, F. C.; OLIVEIRA, A. D. de; FERREIRA, E. A. B.; BISPO, O. B.; ZANSAVIO, A. M. de O.; GATTO, A. Nitrogênio mineral em solos sob florestas plantadas e vegetação nativa do Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **O solo e suas múltiplas funções**: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140466/1/1600.pdf.

RIBEIRO, F. C.; OLIVEIRA, A. D. de; MALAQUIAS, J. V.; SOARES, J. P. G.; GATTO, A.; PASSOS, M. C. dos. Nitrato e Amônio em latossolo sob eucalipto e vegetação de Cerrado. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Educar para preservar el suelo y conservar la vida en la tierra**. Cusco: Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco, 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122815/1/Congresso-Latinoamericano-Peruano-Ciencia-do-Solo-11.pdf.

RIBEIRO, F. P.; GATTO, A.; OLIVEIRA, A. D. de; PULROLNIK, K.; FERREIRA, E. A. B.; CARVALHO, A. M. de; BUSSINGUER, A. P.; MULLER, A. G.; MORAES NETO, S. P. de. Litter dynamics in Eucalyptus and native forest in the Brazilian Cerrado. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 11, p. 29-43, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/184803/1/DinamSerrapEucFlorNativaCerrado2018JAS-apagar.pdf.

RIEGER, F. A.; ZOLIN, C. A.; MAGALHÃES, C. A. S.; PAULINO, J.; FARIAS NETO, A. L.; MENEGUCI, J. L. P. Perda de água e sedimentos em diferentes usos do solo. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2014, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Sanidade, 2014. DOI: https://doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a701.

RODRIGUES, G. S.; OLIVEIRA, P. de; NOVAES, R. M. L.; PEREIRA, S. E. M.; NICODEMO, M. L. F.; SENA, A. L. dos S.; BELCHIOR, E. B.; ALMEIDA, M. R. M. de; SANTI, A.; WRUCK, F. J. **Avaliação de impactos ambientais de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta conforme contexto de adoção**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017. 38 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 110). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160581/1/2017DC01.pdf.

ROECKER, A. N.; PARAÍSO, I. G. N.; KIPERT, T. A.; NEVES, L. V. das; GOMES, F. J.; PEDREIRA, C. G. S.; PEDREIRA, B. C. e. Adaptação morfogênica do capim-marandu sob pastejo em lotação contínua em sistema silvipastoril. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 55.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 28., 2018, Goiânia. **Construindo saberes, formando pessoas e transformando a produção animal**: anais. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia; Brasília, DF: Associação Brasileira de Zootecnistas. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192976/1/2018-cpamt-bruno-pedreira-adaptacao-morfogenica-capim-marandu-pastejo-silvipastoril.pdf.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Avaliação do crescimento diamétrico do eucalipto em diferentes idades e sistemas. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, 8., 2016, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: [s.n.], 2016. p. 12-19. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155377/1/Enaag2016-p12.pdf.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Desenvolvimento inicial do eucalipto em monocultivo e em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 4., 2015, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: UEPA, 2015a. Disponível em: https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1036385/desenvolvimento-inicial-do-eucalipto-em-monocultivo-e-sistema-de-integracao-lavoura-pecuaria-floresta.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Efeito do componente florestal em sistema iLPF nos atributos físicos e carbono orgânico de um Latossolo Amarelo. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 4., 2017, Viçosa, MG. **Solos no espaço e tempo**: trajetórias e tendências: anais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 2017. p. 335-337. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165081/1/ANAIS-IVSMCS-2017-1.pdf.

SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R. Dinâmica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta nos atributos físicos de um latossolo amarelo. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19.; SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 3., 2015, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2015b. p. 14-18. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128542/1/Pibic2015-2.pdf.

SALMAN, A. K.; CIPRIANI, H. N.; PAULA, N. M. G. e; CRUZ, P. G. da; VIEIRA, A. H. Sombreamento nos renques em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em Porto Velho, Rondônia. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. 447 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179328/1/SALMAN-Sombreamento-EBS.pdf.

SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G.; RODRIGUES, L. M. R.; RODRIGUES NETO, J. Ocorrência de mancha foliar bacteriana em plantios de eucalipto no estado do Mato Grosso e de Santa Catarina. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, supl., S232, 2010. Edição dos Resumos do Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 43., 2010, Cuiabá.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, P. E. T. dos. **Sistemas de produção da Embrapa**: cultivo do eucalipto. 2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/home.

SANTOS, R. S.; GONÇALVES, R. Primeira ocorrência de *Costalimaita ferruginea* (Coleoptera: Chrysomelidae) em eucalipto no Estado do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 30., Porto Alegre, 2014. **Mapeando a biodiversidade**: caderno de resumos. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zoologia, 2014. p. 664. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160971/1/24910.pdf.

SANTOS, R. S.; GONÇALVES, R.; SILVA, N. dos A. Primeiro registro do besouro-amarelo-do-eucalipto em plantio de eucalipto no Estado do Acre. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 584-587, 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147386/1/26118.pdf.

SARAIVA, C. C. de S.; SALMAN, A. K.; CRUZ, P. G. da; VEIT, H. M.; CIPRIANI, H. N.; CARVALHO, G. A. de; SOUZA, E. C. de; SCHMITT, E. Internal temperature of girolando (Holstein×Gir) heifers in integrated crop, livestock (ICLS) and forestry (ICLFS) systems. In: INTERNATIONAL MEETING OF ADVANCES IN ANIMAL SCIENCE, 2016, Jaboticabal. **Papers** [...]. Jaboticabal: Unesp, 2016. IMAS. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144684/1/galoa-proceedings-imas-45417-internal-tempera.pdf.

SENADO, J. A. V.; SANTOS, A. V. F. dos; LUNZ, A. M.; BATISTA, T. F. V. Diversidade e abundância da entomofauna associada ao eucalipto no município de Dom Eliseu - PA. In: SEMINÁRIO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRA, 13., 2015, Belém, PA. **Anais** [...]. Belém, PA: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/137074/1/Diversidade.pdf.

SERRA, A. P.; BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, W. A.; FERREIRA, A. D. Fundamentos técnicos para implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com eucalipto. In: BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**: a produção sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 49-72. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159824/1/Sistemas-de-Integracao-Lavoura-Pecuaria-Floresta-2ed.pdf.

SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. de. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**: 2007. Cuiabá: Central de Texto, 2007. 63 p.

SILVA, A. da; CAVALLI, J.; DOMICIANO, L. F.; HOLSCHUCH, S. G.; BOURSCHEIDT, M. L. B.; GOMES, F. J.; PINA, D. dos S.; PEDREIRA, B. C. e. Características morfológicas e teor de proteína bruta de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 25., 2015, Fortaleza. **Dimensões tecnológicas e sociais da zootecnia**: anais. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2015a. ZOOTEC. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140925/1/2015-cpamt-pedreira-caracteristicas-morfologicas-brachiaria-brizantha-marandu.pdf.

SILVA, A. da; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; ZOMPERO, K.; CAVALLI, C.; CAVALLI, E.; BUCHELT, A. C. Organic matter in forest arrangements within the crop-livestock-forest integration system in Mato Grosso State. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126839/1/ilp16.pdf.

SILVA, A. da; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; ZOMPERO, K.; CAVALLI, C.; CAVALLI, E.; BUCHELT, A. C. Soil P, K, and Al contents in a crop-livestock-forest integration system in Mato Grosso State. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015c. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126836/1/iLP13.pdf.

SILVA, A. G. M. F.; SILVA, W. J. M.; TONINI, H.; MORALES, M. M. Crescimento, biomassa e sequestro de carbono de um clone de eucalipto em monocultivo e sistemas integrados. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5., 2016, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: Embrapa, 2017a. p. 124-127. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174513/1/2016-cpamt-tonini-crescimento-biomassa-sequestro-carbono-eucalipto-monocultura-sistemas-integrados-p124.pdf.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Agropecuária Técnica**, v. 37, n. 1, p. 96-104, 2016a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147458/1/Agrotec2016.pdf.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Efeito do cultivo de eucalipto em sistema integrado e monocultivo no teor de carbono orgânico do solo. In: ENCONTRO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2., 2016, Capanema. [**Anais**]. [Belém, PA: UFRA], 2016b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147108/1/71.pdf.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Alterações das propriedades físicas e teor de carbono orgânico em diferentes sistemas em um latossolo amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2017, Belém, PA. **Amazônia e seus solos**: peculiaridades e potencialidades. Belém, PA: SBCS, 2017b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163191/1/605-11042017-130418.pdf.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica de um latossolo amarelo sob sistemas integração lavoura-pecuária-floresta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. 2, p. 144-157, 2015d. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125909/1/13.pdf.

SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; SILVEIRA FILHO, A.; SALES, A. **Incidência de danos em espécies florestais causados por bovinos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2017c. 21 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 122). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162896/1/BOLETIM-PD-122-Ainfo.pdf.

SILVA, D. E. M. da; VERZIGNASSI, J. R.; JESUS, A. L. e; POLTRONIERI, L. S.; BENCHIMOL, R. L.; PRAZERES, B. A. Manchas foliares e desfolha, causadas por *Cylindrocladium pteridis* e *C. ovatum*, em mudas e em plantas de jardim clonal de *Eucalyptus grandis* no Pará. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 59., 2007, Belém, PA. **Resumos** [...]. Belém: SBPC, [2007]. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111182/1/SBPC-9.pdf.

SILVA, E. E. da; MEDEIROS, R. D. de. Agronomic evaluation of maize crop in crop-forest system in the Roraima savannah. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/133514/1/Silva-et-al-2015-2.pdf.

SILVA, E. E. da; MEDEIROS, R. D. de. Agronomic evaluation of soybean crop in crop-forest system in the Roraima savannah. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015b. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1029072/1/Silvaetal20153.pdf.

SILVA, E. S.; CARMO, I. L. G. da S.; MONTEIRO NETO, J. L. L.; SAMPAIO, A. C. F.; MENESES, P. H. S.; MEDEIROS, R. D. de. Milho consorciado com eucalipto em sistema integração lavoura-pecuária-floresta. In: SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO ESTADO DE RORAIMA, 10., 2015, Boa Vista. **Resumos** [...]. Boa Vista: UERR, 2015e. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138911/1/ROBERTO3.pdf.

SILVA, F. S. da; KIPERT, T. A.; PARAÍSO, J. M. N.; MOMBACH, M. A.; TORRES, R. C.; RODRIGUES, R. de A. R.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. e; CABRAL, L. da S. Desempenho e emissão de metano entérico de bovinos em sistemas integrados de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA DO SUL DE MATO GROSSO, 2., Rondonópolis, 2018. **Anais eletrônicos** [...]. Mato Grosso: UFMT, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192952/1/2018-cpamt-bruno-pedreira-desempenho-emissao-metano-enterico-bovinos-sistemas-integrados-producao.pdf.

SILVA, H. D. da; PIRES, I. E.; RIBASKI, J.; DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; SOUZA, S. M. de; FERREIRA, C. A. **Comportamento de essências florestais nas regiões árida e semiárida do Nordeste (resultados preliminares)**. Brasília, DF: Embrapa-DTC, 1980. 25 p. (Embrapa-DTC. Documentos, 1). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/87655/comportamento-de-essencias-florestais-nas-regioes-arida-e-semi-arida-do-nordeste-resultados-preliminares.

SILVA, N. M. F. da; PEDREIRA, B. C. e. Produção de forragem e desempenho animal em sistemas lavoura-pecuária-floresta. In: MOSTRA DA PÓS-GRADUAÇÃO DA UFMT, 8., 2016, Cuiabá, MT. **Resumos** [...]. Cuiabá, MT: UFMT, 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156735/1/2016-cpamt-pedreira-forragem-desempenho-animal-sistema-ilpf.pdf.

SILVA, R. R.; CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; TIMÓTEO, L. G.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, W. R. Nitrogênio e fluxos de óxido nitroso em sistemas agrícolas integrados e Cerrado nativo. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Educar para preservar el suelo y conservar la vida en la tierra**. Cusco: Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco, 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122655/1/Congresso-Latinoamericano-Peruano-Ciencia-do-Solo-15.pdf.

SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; ALVES, L. W. R.; AZEVEDO, C. M. B. C. de; SILVEIRA FILHO, A.; OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M. de; FERNANDES, P. C. C. Desenvolvimento do componente agrícola e da espécie eucalipto (*Eucalyptus urophyla*) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no município de Paragominas - PA. In: WORKSHOP INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA EM RONDÔNIA, 1., 2010, Porto Velho. **Resumos expandidos**... Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2010. p. 55-65. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31599/1/eucalipto-Desenvolvimento-Arystides-3.pdf.

SILVEIRA, J. G. da; NOGUEIRA, A. K. da S.; PRADO, A.; ARMACOLO, N. M.; RODRIGUES, R. de A. R.; SOUZA, H. S. Emissões de gases do efeito estufa em sistemas integrados de produção do norte de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 10., 2016, Cuiabá. **SAF**: aprendizados, desafios e perspectivas: anais. Cuiabá: SBSAF, 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155713/1/2016-157.pdf.

SIVIERO, A.; ROWEDER, C.; GOMES, N. S. B.; MACEDO, P. E. F. de; OLIVEIRA, L. C. de; OLIVEIRA, T. K. de. Doenças em plantios jovens de eucalipto em sistemas agroflorestais no Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 10., 2016, Cuiabá. **SAF**: aprendizados, desafios e perspectivas: anais. Cuiabá: SBSAF, 2016a. 3 p.

SIVIERO, A.; ROWEDER, C.; MACEDO, P. E. F. de; GOMES, N. S. B.; FURTADO, E. L. Manchas foliares em plantios de eucalipto no Acre, Amazônia / Leaf spots in Eucalyptus plantations in Acre, Amazon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 48.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA PÓS COLHEITA, 2., 2015, São Pedro. **Fitopatologia de precisão**: fronteiras da ciência: anais. São Pedro, SP: SBF, 2015a. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128484/1/25703.pdf.

SIVIERO, A.; ROWEDER, C.; MACEDO, P. E. F. de; GOMES, N. S. B.; FURTADO, E. L. Ocorrência da murcha bacteriana em eucalipto no Acre, Amazônia / Occurrence of bacterial wilt in Eucalyptus in Acre, Amazon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 48.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA PÓS COLHEITA, 2., 2015, São Pedro. **Fitopatologia de precisão**: fronteiras da ciência: anais. São Pedro, SP: SBF, 2015b. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128483/1/25702.pdf.

SIVIERO, A.; ROWEDER, C.; MACEDO, P. E. F. de; THOMPSON, R. M.; OLIVEIRA, L. C. de. Mancha foliar e desfolha causada por *Cylindrocladium* spp. em genótipos de eucalipto no Acre, Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 49., 2016, Maceió. **Anais eletrônicos** [...]. Maceió: SBF: Ufal: Ceca, 2016b. 1 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148861/1/26145.pdf.

SIQUEIRA, E. R. de; RIBEIRO, F. E.; CARVALHO, P. E. R.; DRUMOND, M. A. Comportamento inicial de espécies florestais exóticas na região da Mata Atlântica de Sergipe. **Revista Árvore**, v. 26, n. 1, p. 13-17, 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38382/1/Comportamento-inicial-de-especies-florestais.pdf.

SIQUEIRA, E. R. de; RIBEIRO, F. E.; RANGEL, M. S. A. **Comportamento inicial de *Eucalyptus* em Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. 3 p. (EMBRAPA-CPATC. Pesquisa e Aandamento, 82). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91472/1/CPATC-PESQ.-AND.-82-99.pdf.

SOUZA, A. D. R. de; LIMA, R. M. B. de; SOUSA, S. G. A. de. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* var. *macrophylla* x *grandis* (eucalipto) no sentido longitudinal da árvore. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 6., 2010, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 30-35. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111534/1/VI-Jornada-IC-32-37.pdf.

SOUZA, C. R. de; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P. de; LIMA, R. M. B. de. Comportamento da Acacia mangium e de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 95-101, 2004. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176299/1/cap09.pdf.

SOUZA, E. C. de; SALMAN, A. K.; CRUZ, P. G. da; CARVALHO, G. A. de; FARIA, F. R.; CASTILHO, L. da S. O.; SCHMITT, E.; VEIT, H. M. Water intake by girolando heifers in integrated crop, livestock (ICLS) and forestry (ICLFS) sistems. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 54., 2017, Foz do Iguaçu, PR. **Proceedings** [...]. Foz do Iguaçu, PR: SBZ, 2017. p. 1227.

SOUZA, E. C. de; SALMAN, A. K.; CRUZ, P. G. da; CARVALHO, G. A. de; SILVA, F. R. F. da. Caracterização do comportamento em pastejo de novilhas Girolando manejadas em sistemas de integração-lavoura-pecuária (iLP) e floresta (iLPF). In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA RONDÔNIA, 9.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2018, Porto Velho. **Anais** [...]. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2018. p. 9. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188844/1/Anais-Eiper-2018-v4-p9.pdf.

SOUZA, E. C. de; SALMAN, A. K.; CRUZ, P. G. da; VEIT, H. M.; CARVALHO, G. A. de; SILVA, F. R. F. da; SARAIVA, C. C. de S.; SCHMIT, E. Tempo gasto em pastejo por novilhas Girolando em sistema integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 26., 2016, Santa Maria, RS. **Cinquenta anos de zootecnia no Brasil**: anais. Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144118/1/Elaine-ZOOTEC-31-03-2016.pdf.

SOUZA, S. M.; CARVALHO, J. H. **Comportamento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh aos 36 meses de idade em Teresina, PI**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1984. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA. Pesquisa em andamento, 26). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56159/1/PA-26-1984.pdf.

SUDENE. **Delimitação do Semiárido**. Disponível em: http://www.sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido. Acesso em 20 fev. 2019.

TSCHOPE, G. L.; NASCIMENTO, H. L. B. do; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. e; SEDANO, A. D.; SILVA, N. M. F. da; CHIZZOTTI, F. H. M. Índice de área foliar e área foliar especifica em pastos de capim marandu na entre-safra em sistemas iLPF. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 2., 2016, Sinop. **Recuperação de pastagens**: anais. Cuiabá: Fundação Uniselva, 2016. p. 264-265. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153354/1/2016-cpamt-pedreira-indice-area-foleiar-pasto-capim-marandu-entre-safra-ilpf-264.pdf..

TONINI, H.; MORALES, M. M.; MENEGUCI, J. L. P.; ANTONIO, D. B. A.; WRUCK, F. J. Biomassa e área foliar de clones de eucalipto em ILPF: implicações para a desrama. **Revista Nativa**, v. 4, n. 5, p. 271-276, 2016. DOI: https://doi.org/10.14583/2318-7670.v04n05a02.

TONINI, H.; MORALES, M. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; LULU, J.; FARIAS NETO, A. L. de. Efeito do sistema de plantio e da exposição solar sobre a alocação da biomassa no desenvolvimento inicial do eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 86-95, 2019. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509817808.

TONINI, H.; MORALES, M. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; LULU, J.; FARIAS NETO, A. L. de; MENEGUCI, J. L. P. Biomass allocation in Eucalyptus in monoculture and silvipastoral system. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126830/1/2015-Marina-WCCLF-Biomass.pdf.

TONINI, H.; WRUCK, F. J.; MORALES, M. M.; CORREA, E. P.; ZMORA, P. E. de O. Desempenho de espécies florestais em diferentes arranjos de integração lavoura, pecuária e floresta em Barra do Garças, MT. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 5, p. 1817-1827, 2018. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187205/1/571-1551-1-PB.pdf.

VALE, A. T. do; MOURA, V. P. G.; MARTINS, I. S.; PEREIRA, F. S. Influência da gomose e da procedência de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden nos rendimentos da carbonização e na qualidade do carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 253-258, 1997.

VALE, A. T. do; MOURA, V. P. G.; MARTINS, I. S.; REZENDE, D. C. A de. Densidade básica média, em função da profundidade de penetração do pino do "pilodyn" e da classe diamétrica, e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 19, n. 1, p. 80-91, 1995.

VEIGA, J. B. da; ALMEIDA, E. N. de. **Liteira de paricá, tatajuba e eucalipto em sistemas silvipastoris no Município de Paragominas - PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 38). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/49495/1/Boletim-PD-38-AMAZ-ORIENTAL.pdf.

VERONKA, D. A.; MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A. Crescimento de cinco espécies florestais com potencial para sistemas silvipastoris após a aplicação de diferentes doses de glyphosate no solo. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA GADO DE CORTE, 5., 2009, Campo Grande, MS. [**Anais da** ...]. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2009. 1 p. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/877115/1/CRESCIMENTODECINCOESPECIESFLORESTAISCOMPOTENCIALPARA.pdf.

VIEIRA, A. H.; ROCHA, R. B. BENTES-GAMA, M. DE M.; ROSSI, L. M. B.; LOCATELLI, M. **Dendrometria e avaliação da performance de clones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) plantados na região central do Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2007. 18 p. (Embrapa Rondônia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 47). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167531/1/SP-35-Sistema-de-produc807a771o-do-Eucalipto.pdf. Acesso em: 21 fev. 2019.

VOLPATO, M.; CARMO, J. F. do; CARMO, F. H. Della J. do; GABIATTI, A. C.; LAZAROTTO, F. J.; MORALES, M. M. Análise dos rendimentos de carvão de *Eucalyptus urograndis* no processo de carbonização. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 2., 2013, Sinop. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2013. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95158/1/2013-Marina-JCEA-Analise.pdf.

WINK, C.; LANGE, A.; ARAÚJO, K. Z.; ALMEIDA, A. P. S. de; BEHLING, M.; WRUCK, F. J. Biomassa e nutrientes de eucalipto cultivado em sistema agrossilvipastoril. **Revista Nativa**, v. 6, nesp., p. 754-762, 2018. DOI: https://doi.org/10.31413/nativa.v6i0.5987.

WINK, C.; MORALES, M. M.; CARVALHO, B. dos S. Área foliar de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (clone H13) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO FLORESTAL DE MATO GROSSO, 1.; SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS, 5.; SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL - UFMT/Sinop, 5., 2015, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: UFMT, 2015. 5 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135567/1/2015-Marina-CFMT-AreaFoliar.pdf.

WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; MOURA, M. S. B. de. Modelagem da distribuição geográfica de *Eucalyptus tereticornis* na Região Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros**: anais. Guarapari: Incaper, 2011. 1 CD-ROM. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39242/1/2011-MarcosW-CBAM-Modelagem.pdf.

WRUCK, F. J.; BEHLING, M.; ANTONIO, D. B. A.; MENEGUCI, J. L. P.; TONINI, H.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; OLIVEIRA, P. de; PEDREIRA, B. C. e; SILVA, A. F. da. Práticas e manejo de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com componente florestal para as regiões Centro-Oeste e Sudeste. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHAO, R. L. (ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015a. p. 121-139. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128324/1/ILPF-cap-6.pdf.

WRUCK, F. J.; BEHLING, M.; ANTONIO, D. B. A. Sistemas integrados em Mato Grosso e Goiás. In: LAURA, W. A.; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. (ed.). **Sistemas agroflorestais**: a agropecuária sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2015b, p. 169-194. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168205/1/CNPAF-2015-cap9.pdf.

YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J. G. L. da**. Espécies florestais nativas e exóticas**: comportamento silvicultural no planalto do Tapajós - Pará. Belém: Embrapa-CPATU, 1988. 29 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 49). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58704/1/CPATU-Doc49.pdf.

10

A geografia de solos e suas interpretações para o cultivo do eucalipto no Brasil

João Bosco Vasconcellos Gomes
Itamar Antonio Bognola
Nilton Curi
Thays Schneider
Raphael David dos Santos

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Os anos 50 marcaram o início da espacialização de solos para interpretações de multipropósitos no Brasil, quando Mendes e colaboradores realizaram o mapeamento de solos de uma área do Ministério da Agricultura (município de Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro). De lá para cá, nesses mais de 60 anos, a história dos mapeamentos de solos no Brasil e as interpretações desses mapeamentos para diferentes aplicações de uso da terra (principalmente as agrícolas) flutuaram entre períodos de significativos avanços e de uma quase total paralisação, reflexo de crises econômicas sazonais e do demérito com que os governantes brasileiros sempre trataram as ferramentas de planejamento de uso da terra (Santos, 1995). Para além desse rápido histórico sobre a geografia de solos no Brasil, pode-se afirmar, sem dúvida, que o setor florestal brasileiro, em especial a silvicultura do eucalipto, valorizou e muito o uso das informações de solos e clima nas suas ações de planejamento de plantio e no seu operacional, em níveis apenas comparáveis à cadeia produtiva da cana-de-açúcar.

Um aspecto importante nos estudos espaciais - e que por vezes gera certa confusão na utilização da informação - diz respeito à escala de trabalho. O planejamento regional utiliza informações generalizadas, em escalas médias a pequenas e muito variadas. No caso das informações da geografia de solos, trata-se de escalas menores que 1:50.000, mas que podem alcançar escalas ainda menores (p.e. 1:1.000.000). No Brasil, o maior exemplo desses estudos diz respeito à coleção da "Aptidão agrícola das terras" da antiga Suplan para os estados brasileiros, capitaneados por Antônio Ramalho Filho e colaboradores ao longo das décadas de 1970 e 1980. Já os estudos com escalas grandes (maiores que 1:50.000) são direcionados a objetivos específicos. Evidentemente que os estudos de aptidão das terras para o cultivo de florestas podem atender a uma grande região (um estado ou um município como exemplos de escalas pequenas) ou uma área específica (áreas de produção de empresas como exemplo de escalas grandes). As grandes empresas florestais, principalmente as ligadas à cadeia produtiva de celulose, alavancaram as metodologias de aptidão das terras para o cultivo de florestas (eucalipto). O planejamento das áreas de produção dessas empresas de forma usual envolve escalas maiores que 1:25.000, com uma confiabilidade mínima de mapeamentos de solos semidetalhados.

Outro aspecto filosófico dos estudos de avaliação da aptidão das terras é o conceito de aproximações da realidade. Quando se faz uma interpretação espacial da qualidade das terras para o cultivo do eucalipto (raciocínio que vale para qualquer outra atividade agrícola), essa interpretação é baseada em um estado da arte dos conhecimentos sobre a resposta do crescimento das árvores, em função das qualidades do sítio florestal e dos insumos utilizados. O ciclo longo da atividade (nem tão longo para uma árvore) faz o modelo gerado (crescimento versus oferta ambiental de solos e clima e sistema de manejo) girar vagarosamente e os estudos de validação desses modelos ainda são

incipientes, sendo um raro exemplar dessa validação aquela realizada por Carvalho Filho et al. (2013), para a produção de eucalipto nos Tabuleiros Costeiros brasileiros.

Quando se objetiva avaliar a aptidão agrícola das terras para o cultivo do eucalipto, em nível de empresas (ou propriedades), existe a necessidade de um maior detalhamento das qualidades dos solos, aliando essas informações com a oferta climática e o sistema de manejo local (nível tecnológico da atividade), o que inclui todos os insumos silviculturais, em especial o conhecimento das diferentes espécies e clones de eucalipto e o seu comportamento em diferentes condições ambientais (Carmo et al., 1990; Bognola et al., 2009; Pissinin; Schneider, 2017).

Os plantios florestais, de forma geral, apresentam plasticidade suficiente para suportar terras com restrições bem mais fortes que aquelas qualificadas para o plantio de grãos e outros cultivos anuais. Os solos florestais podem ser, até certo ponto, declivosos, ácidos, rochosos, esqueléticos e, até mesmo, de difícil acesso (Miller; Donahue, 1990). O relativo baixo número de intervenções ao longo do ciclo, o tamanho do ciclo (aproximadamente sete anos para celulose e energia) e a flexibilidade do momento de colheita, entre outros aspectos, ajudam a explicar porque uma interpretação para fins de cultivo do eucalipto, mais do que desqualificar, deve informar - por meio de suas classes de aptidão - o gradiente de risco que um polígono de terras representa para a atividade. Abstraindo-se a plasticidade ambiental do eucalipto e de qualquer outra árvore de crescimento acelerado, a disponibilidade de água no solo é um fator essencial para que sua produtividade não seja comprometida. Nos zoneamentos agrícolas (fatores climáticos) de grandes regiões, as variações pluviométricas têm maior interferência no crescimento e desenvolvimento do eucalipto que as variações de radiação e temperatura (Carvalho Filho et al., 2013), o que só não se verifica quando o cultivo se dá em áreas com riscos de geadas eminentes (Wrege et al., 2018).

O presente capítulo reúne informações sobre trabalhos envolvendo o mapeamento de solos em áreas florestais, as interpretações desses mapeamentos para o cultivo do eucalipto e, principalmente, discute o desenvolvimento dessas metodologias de interpretação e sua importância para a cadeia produtiva de povoamentos florestais. O grupo de pesquisadores que atua nessa linha de pesquisa envolve várias instituições entre Universidades e Institutos de Pesquisa do País e, nesse grupo, vários pesquisadores da Embrapa apresentam longo histórico de contribuição.

O desenvolvimento de metodologias de aptidão das terras e de unidades de manejo para o cultivo de povoamentos florestais

Os estudos envolvendo a distinção de ambientes para uma atividade agrícola específica, como a atividade florestal, utilizam metodologias próprias. No Brasil, na maioria das vezes, são adaptados princípios básicos de duas metodologias originais, em maior grau do sistema de aptidão das terras FAO/Brasileiro, mas também utilizam elementos do sistema de capacidade de uso das terras.

O sistema FAO/Brasileiro de aptidão agrícola (Bennema; Camargo, 1964; Bennema et al., 1965; Ramalho Filho et al., 1983; Ramalho Filho; Beek, 1995) mudou o patamar das interpretações de levantamentos de solos para o uso das terras com lavouras, pastagens e florestas no Brasil. Com conceitos inovadores, o sistema foi e ainda é de grande aplicação aos estudos de planejamento regional no País e nele a atividade florestal está inserida em uma interpretação multipropósito. O sistema considera: a avaliação de cinco fatores de limitação, que são qualidades do ambiente tidas como básicas para uma exploração agrícola (deficiência de fertilidade/nutrientes, deficiência de oxigênio/excesso de água, deficiência de água, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização); o nível de manejo/tecnológico da atividade (que varia da quase ausência até uma elevada aplicação de insumos); e, por último, dependendo do nível de manejo do produtor ou da atividade, a viabilidade de redução dos fatores de limitação (problemas) por meio do uso de insumos e, ou intervenções, o que, em última análise, depende do capital e da técnica disponível. No sistema de aptidão das terras FAO/Brasileiro a silvicultura vem em uma escala de intensidade de uso abaixo da pastagem plantada, com um nível tecnológico sempre "intermediário", chamado de nível de manejo "B". Essa visão de uma modesta aplicação de fertilizantes e corretivos e outros insumos na atividade florestal foi uma constante nos estudos regionais por muitos anos.

O sistema de classificação da capacidade de uso das terras proposto por Lepsch et al. (1991; 2015) foi adaptado das condições dos Estados Unidos (Serviço de Conservação do Solo), onde os usuários possuem total acesso aos levantamentos de solos detalhados, algo muito longe da realidade brasileira e que muito dificultou a sua aplicação paras as condições do País. Alguns elementos desse sistema ganharam importância nos estudos de aptidão das terras para cultivos específicos (pedoclimáticos por cultura). No caso da aptidão das terras para o cultivo do eucalipto, as metodologias puderam adaptar de forma mais eficiente o uso de atributos do solo específicos (profundidade efetiva, textura, etc.) na definição e na simbologia das classes dos mapas. Essa influência ficou ainda mais nítida com os mapeamentos de solos mais detalhados das áreas de produção de empresas florestais.

Com as avaliações pedoclimáticas por cultura ganhando expressão nos estudos regionais, alguns trabalhos começaram a gerar informações específicas para a atividade florestal. As metodologias, muitas vezes, agregam a aptidão pedológica com a aptidão climática das terras. Mais antigamente, antes das ferramentas de geotecnologias serem predominantes, eram comuns as publicações de mapas em encartes, como atlas, caso dos estudos pedoclimáticos por cultura da região de Carajás (Ramalho Filho et al., 1984) (Figura 1). Mais recentemente, é comum a disponibilização dos mapas em arquivos *shapefile* ou de suas artes finais em arquivos pdf, gerados a partir de sistemas de informação geográfica (SIG) (Carneiro et al., 2006; Garrastazu et al., 2009; Souza et al., 2015). Um exemplo dessa sequência de procedimentos em SIG foi realizada no zoneamento edafoclimático para o eucalipto na região do Corede Sul – RS (os Coredes são uma divisão regional de planejamento do estado), onde um zoneamento climático para espécies de eucalipto (Wrege et al., 2009) e um zoneamento pedológico para o eucalipto (Flores et al., 2009) geraram zoneamentos "edafoclimáticos" para diferentes espécies de eucalipto (Garrastazu et al., 2009) (Figura 2).

Os mapeamentos de solos de áreas de produção de eucalipto em escalas grandes (geralmente > 1:25.000) tornaram-se comuns a partir da década de 1980. As empresas buscavam ações que ajudassem a certificação florestal (mercado internacional) e a sustentabilidade da atividade e encontraram, na estratificação espacial do ambiente produtivo pelo solo, uma ferramenta eficaz. Naquele momento, as metodologias de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto passaram a contar com um nível de

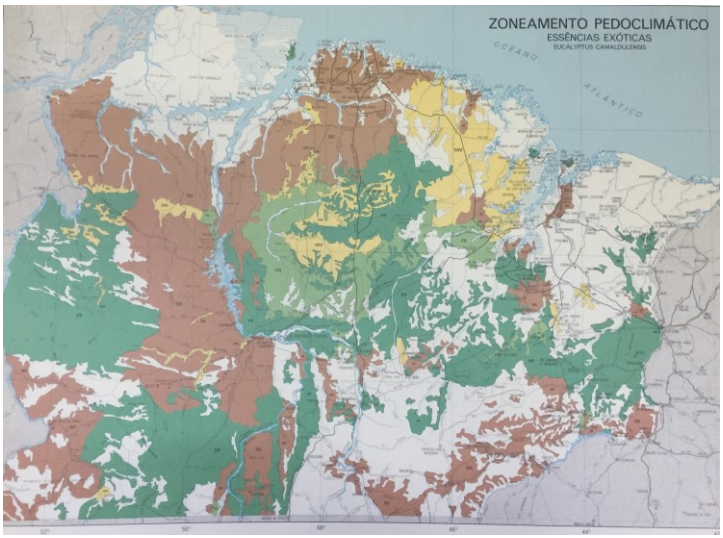


Figura 1. Imagem do mapa do zoneamento pedoclimático – espécies introduzidas (*Eucalyptus camaldulensis*) – Programa Grande Carajás (Brasil, 1984).

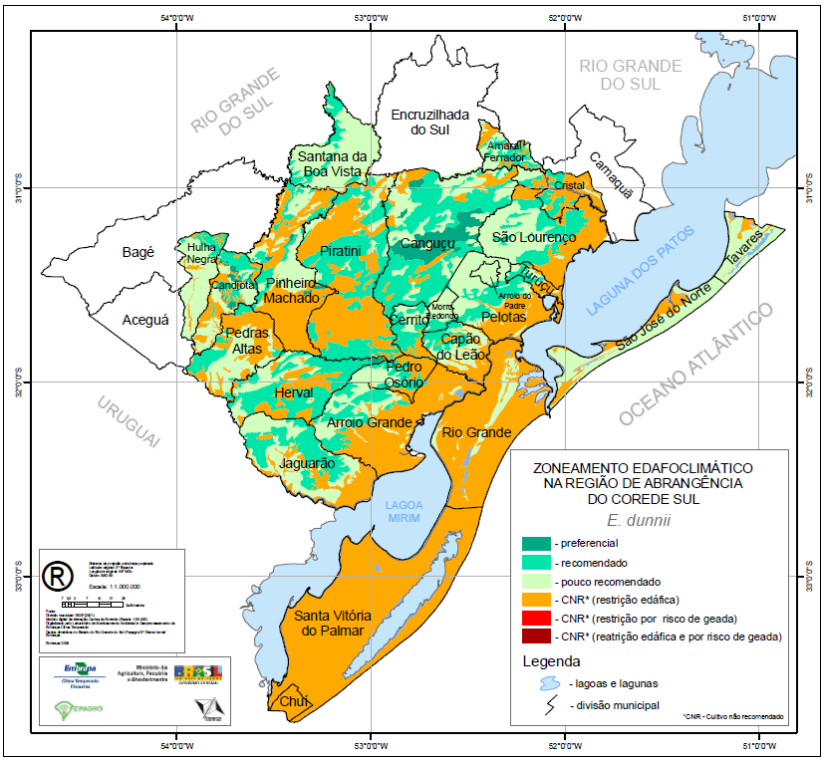


Figura 2. Imagem do mapa do zoneamento pedoclimático de *Eucalyptus dunnii* na região do Corede Sul, RS (Garrastazu et al., 2009).

densidade de informações bem maior do que o existente nos estudos predominantes mais generalizados de planejamento regional. A escala mais detalhada dos mapeamentos de solos e as particularidades - ambientais e do sistema manejo - de cada empresa possibilitaram o desenvolvimento de várias metodologias de interpretação e amadureceram o conceito de unidades de manejo florestal. Essas interpretações, entre outros aspectos, trabalham realinhando/reclassificando um grande número de unidades de mapeamento de solos para um número de unidades de manejo florestal exequível para o operacional das empresas. É difícil saber quando a expressão foi utilizada pela primeira vez, representando a classe de aptidão de uma faixa de terra para o cultivo florestal. As áreas de produção da então Aracruz Celulose S.A., englobando aproximadamente 125.000 ha de terras distribuídas entre o Espírito Santo e o sul da Bahia, certamente foram uma das primeiras a terem unidades de manejo com esse sentido (Levantamento..., 2000) (Figura 3). A parceria da empresa com a Embrapa Solos ainda foi a responsável por iniciar a longa trajetória do pedólogo Raphael David dos Santos (ver Nota) com as empresas florestais. A partir dessa época, vários mapeamentos de

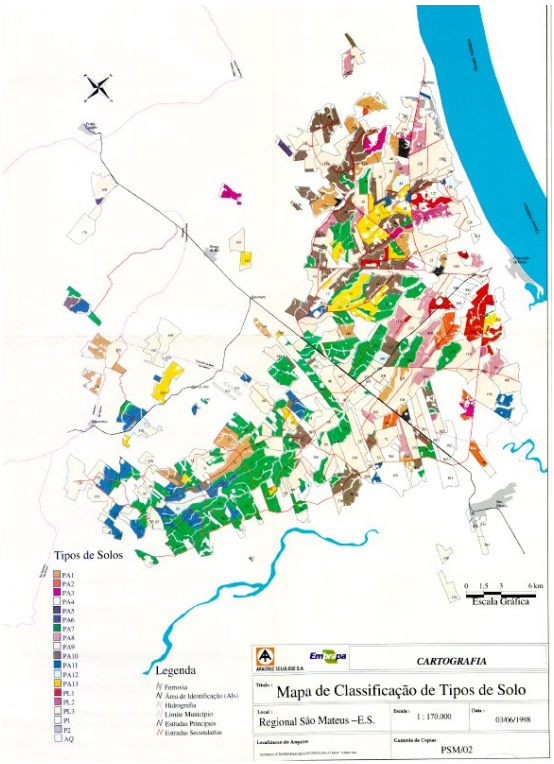


Figura 3. Imagem do mapa de solos de áreas de produção da antiga Aracruz Celulose, Regional São Mateus (Embrapa, 2000).

solos de áreas de produção de eucalipto geraram novas metodologias de unidades de manejo florestal (Gomes; Curi, 2001, 2008; Curi; Ker, 2004; Bognola et al., 2009; Costa et al., 2009; Curi; Silva, 2011; Curi et al., 2014, 2019; Gomes et al., 2014), muitas presentes apenas em publicações de circulação restrita.

Por outro lado, a importância da cadeia produtiva do eucalipto no País, com 5,7 milhões de ha de área plantada (IBÁ, 2017), tem demandado, além da construção de unidades de manejo florestal, novas metodologias específicas de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto, voltadas também para estudos regionais. Carmo et al. (1990) fizeram uma discussão filosófica ampla sobre o papel do solo na distinção de ambientes para a produção de eucalipto. Carvalho Filho et al. (2013) propuseram uma metodologia de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto, na região dos Tabuleiros Costeiros do Brasil (Figura 4). O sistema criado inclui dois níveis de manejo, "SB" e "SC", que refletem, respectivamente, níveis tecnológicos menos e mais elevados.

Além das interpretações do setor produtivo, metodologias também foram desenvolvidas para a recomposição da cobertura florestal (Gomes et al., 2004, 2005), sem outro intuito que não o da adequação ambiental de áreas antropizadas. Em linha de ação próxima, Santos et al. (2004) realizaram o mapeamento de solos das reservas

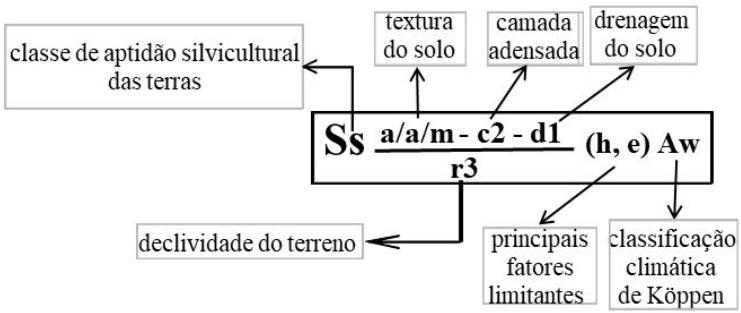


Figura 4. Exemplo de símbolo das classes de aptidão silvicultural (eucalipto) em Carvalho Filho et al. (2013). Duas primeiras letras: Ss = classe de aptidão silvicultural Adequada no nível de manejo Intermediário e Regular no nível de manejo Avançado. Numerador da fração: a/a/m = textura arenosa de 0-20 cm e 20-50 cm e textura média de 50-80 cm de profundidade; c2 = presença de camada adensada de 50-80 cm de profundidade; d1 = boa drenagem interna do solo. Denominador da fração: r3 = relevo com 8% a 13% de declividade. Texto entre parênteses: (h-e) = fatores limitantes ao cultivo do eucalipto na classe - deficiência de água (h) e suscetibilidade à erosão (e). Duas últimas letras: classificação climática de Köppen = Aw.

florestais dos municípios de Linhares e Sooretama, no estado do Espírito Santo, como apoio às ações de manejo florestal e aos vários estudos de flora realizados nestas reservas.

O futuro das avaliações de terras para o cultivo florestal

A grande tradição no uso da informação da geografia de solos, por parte das empresas florestais, possibilitou um avanço nas metodologias de avaliação de terras, para o cultivo florestal no Brasil.

Nos estudos regionais, que auxiliam a definição de políticas de macroplanejamento, é importante entender que os mapeamentos de solos predominantes no Brasil impõem limites de escala para novos objetivos, principalmente no nível do planejamento municipal e da legislação ambiental. Existe uma inconsistência entre o grau de confiabilidade da informação disponível e o problema a ser abordado. Isso serve para qualquer objetivo de planejamento de uso da terra e, evidentemente, também para o macroplanejamento da cadeia produtiva do eucalipto.

Nos estudos de escalas maiores, a incorporação de novas áreas de produção de eucalipto ainda podem gerar demandas por novos levantamentos de solos mais detalhados e de avaliações de classes de unidades de manejo florestal. Porém, principalmente para o Sul e o Sudeste do Brasil, essa ampliação já não é uma constante.

Nesse momento, é preciso entender que o mapeamento de solos, respeitando o nível de confiabilidade em que foi executado (a escala), é uma informação perene que exige, ao longo do tempo, apenas atualizações de legenda, em função de alterações nos Sistemas de Classificação de Solos. Porém, classificações técnicas, como avaliação de terras, são efêmeras, pois envolvem variáveis que rapidamente podem ser alteradas pela incorporação de novas técnicas (clones, máquinas etc.). Assim, a avaliação de terras para o cultivo do eucalipto, principalmente a definição das unidades de manejo florestal em áreas de empresas, deve ser refeita em ciclos de tempo que dependem de mudanças de objetivos corporativos ou operacionais.

Além das classes de aptidão das terras para o plantio de eucalipto e das unidades de manejo florestal tradicionais, as espacializações tendem a se tornar mais estratégicas quando consideram o dinamismo dos atributos climáticos. Esses últimos, ao interagirem com aspectos pedológicos e do sistema de produção, geram cenários espaciais de deficiência hídrica (Francelino et al., 2012), tráfego de máquinas (Milde et al., 2010) (Figura 5), de produtividade (Gonçalves et al., 2012) e outros que podem ser de interesse em uma região ou empresa.

Como já mencionado anteriormente, é necessário avançar nos estudos de validação dos modelos gerados pelas interpretações espaciais, conflitando as classes de aptidão/unidades de manejo com o histórico de produtividade florestal. Para as empresas que

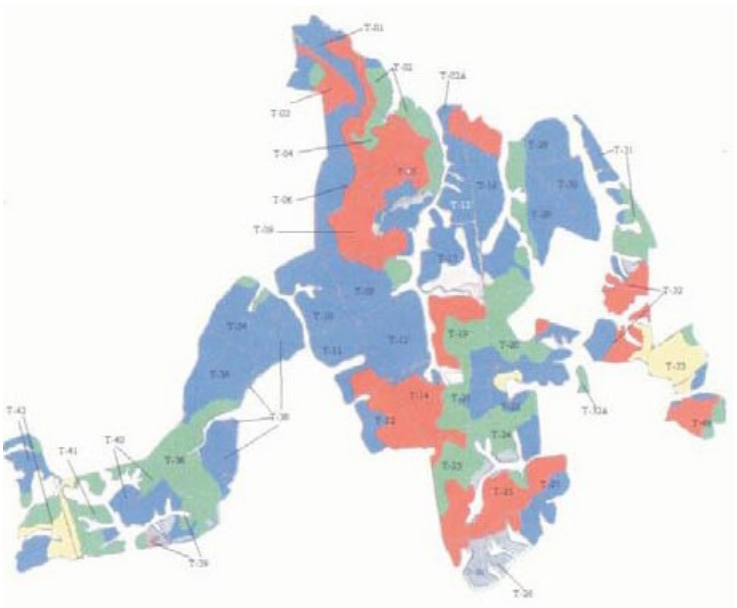


Figura 5. Imagem de mapa das unidades de colheita na Fazenda Santa Rosa, São Miguel Arcanjo, SP. Dias de repouso após uma chuva até a colheita: cor verde = até 2 dias; cor amarela = de 2,1 a 5 dias; cor azul = de 5,1 a 8 dias; e cor vermelha = de 8,1 a 10 dias (Milde et al., 2010).

já realizam seus inventários, esse tipo de iniciativa fica facilitado. Para os estudos regionais, nas regiões de relevância da cadeia produtiva do eucalipto, é importante projetar o estabelecimento de sítios de referência (de produção de eucalipto), à semelhança das "Major Land Resource Areas" dos Estados Unidos (Brejda et al., 2000). A existência dessa rede de sítios permitirá correlacionar sistemas de produção, crescimento de árvores, presença de estresses bióticos (nutrição, doenças e pragas) e oferta ambiental de solos e clima. Os dados gerados garantem uma validação das avaliações espaciais das terras e também a modelagem espacial da produtividade do eucalipto, a partir dos polígonos dos mapas de solos.

Outro passo importante nos estudos espaciais, porém mais complexo, é o diálogo com os modelos de crescimento, como o 3PGIS – Physiological Processes Predicting Growth in Geografic Information System, utilizado para áreas de produção da então Aracruz Celulose S.A., por Almeida et al. (2010). Esses modelos, de forma geral, procuram se basear nos processos vitais para o crescimento das árvores, englobando aspectos lumínicos, térmicos, hídricos, nutricionais e biológicos (Landsberg; Gower, 1997), ou seja, pretendem gerar modelos menos reducionistas.

Dessa exposição sobre os resultados obtidos nos trabalhos de aptidão das terras para o cultivo de eucalipto e de unidades de manejo florestal, ficam os benefícios históricos e potenciais relativos aos pesquisadores e empresas florestais, envolvendo distinções espaciais que auxiliam o planejamento de longo prazo e do operacional da atividade, com definições acerca de profundidade de preparo do solo, tráfego de máquinas em função do teor de água no solo (risco de compactação), tipo de controle da erosão considerando tipos de solos diferentes versus declividades semelhantes, manejo de resíduos da colheita (deficiência de saturação de C), recomendação de adubação (na manutenção, considerando a reserva de nutrientes do solo), planejamento ambiental (indicação de áreas destinadas à preservação/conservação), capacidade de extrapolação de comportamento de materiais genéticos (interação genótipo x ambiente), parâmetros de crescimento e testes clonais.

Referências

ALMEIDA, A. C.; SIGGINS, A.; BATISTA, T. R.; BEADLE, C.; FONSECA, S.; LOOS, R. Mapping the effect of spatial and temporal variation in climate and soils on Eucalyptus plantation production with 3-PG, a process-based growth model. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1730-1740, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.008.

BENNEMA, J.; BEEK, K. J.; CAMARGO, M. N. **Interpretação de levantamentos de solos no Brasil**: primeiro esboço: um sistema de classificação da capacidade de aptidão de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos. Rio de Janeiro: DPFS/DPEA/MA/FAO, 1965. 51 p.

BENNEMA, J.; CAMARGO, M. N. **Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros**: subsídio à VI reunião técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro: DPEA/DPFS, 1964. 45 p.

BOGNOLA, I. A.; GAVA, J. L.; FASOLO, P. J.; STOLLE, L. Proposição de uma metodologia para identificação de unidades de manejo produtivas em plantios de *Eucalyptus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 59, p. 27-36, 2009. DOI: https://doi.org/10.4336/2009.pfb.59.27.

BREJDA, J. J.; MOORMAN, T. B.; KARLEN, D. L.; DAO, T. H. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 2115-2124, 2000. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462115x.

CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1990. p. 187-235.

CARNEIRO, M. A.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; COMUNELLO, E. Aptidão da bacia do rio Dourados para o cultivo de algumas espécies de eucaliptos. **Floresta**, v. 36, n. 3, p. 331-342, 2006.

CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; FONSECA, S. **Avaliação informatizada e validada da aptidão silvicultural das terras dos tabuleiros costeiros Brasileiros para Eucalipto**. Lavras: Ed. da UFLA, 2013. 138 p.

COSTA, A. M.; CURI, N.; ARAÚJO, E. F.; MARQUES, J. J.; MENEZES, M. D. Unidades de manejo para o cultivo de eucalipto em quatro regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 84, p. 465-473, 2009.

CURI, N.; KER, J. C. **Levantamento pedológico de áreas da Aracruz Celulose S.A. nos estados da Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais e sua interpretação para o cultivo de eucalipto e para o ambiente em geral**. Lavras: UFLA, 2004. 105 p.

CURI, N.; SILVA, S. H. G. **Levantamento pedológico semidetalhado de 5.850 ha de áreas de plantio da FIBRIA Celulose S.A. e estabelecimento de unidades de manejo para o cultivo de eucalipto**. Lavras: DCS-UFLA, 2019.

CURI, N.; SILVA, S. H. G. **Mapas de solos provenientes de levantamento pedológico semidetalhado de 14.200 ha de áreas da Celulose Riograndense S.A. e estabelecimento de unidades de manejo para o cultivo de eucalipto**. Lavras: DCS-UFLA, 2011.

CURI, N.; SILVA, S. H. G.; POGGERE, G. C. **Levantamento pedológico semidetalhado de 21.252 ha de áreas da Ferbasa no Estado da Bahia e estabelecimento de unidades de manejo para o cultivo de eucalipto**. Lavras: DCS-UFLA, 2014. 22 p.

FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C.; MATTEI, V. L. Zoneamento edáfico para eucalipto na região do Corede Sul – RS. In: FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; WREGE, M. S. **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na Região do Corede Sul – RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 65-67.

FRANCELINO, M. R.; REZENDE, E. M. C.; SILVA, L. D. B. Proposta de metodologia para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 275-283, 2012.

GARRASTAZU, M. C.; FLORES, C. A.; WREGE, M. S.; ALBA, J. M. F. Zoneamento edafoclimático para o eucalipto na região do Corede Sul – RS. In: FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; WREGE, M. S. **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na Região do Corede Sul – RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 69-78.

GOMES, J. B. V.; CURI, N. **Proposição de redefinição das unidades de manejo da Aracruz Celulose S.A.** Lavras: Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, 2001. 12 p.

GOMES, J. B. V.; CURI, N. **Unidades de manejo da Bahia Pulp-Copener, áreas de projeto, cadastro 2008**. Lavras: Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, 2008. 20 p.

GOMES, J. B. V.; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, R. P.; BHERING, S. B.; ZARONI, M. J.; ANDRADE, A. G.; CALDERANO, S. B. Aptidão para reflorestamento das sub-bacias dos canais do Mangue e do Cunha, município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 459-466, 2005.

GOMES, J. B. V.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; ANDRADE, A. G.; OLIVEIRA, R. P.; BHERING, S. B.; AGLIO, M. L. D. Aptidão para reflorestamento e olericultura das terras do município do Rio de Janeiro, RJ. In: LUMBRERAS, J. F.; GOMES, J. B. V. **Mapeamento pedológico e interpretações úteis ao planejamento ambiental do Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. p. 303-326.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; GONÇALVES, T. D.; MOREIRA; R. M.; MENDES, J. C. T.; GAVA, J. L. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis,* com uso de sistema de informação geográfica. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 187-201, 2012.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017**. São Paulo, 2017. 78 p.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology Management**, v. 95, p. 209–228, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00026-1.

LEVANTAMENTO generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no Estado do Espírito Santo e no extremo sul do Estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 93 p. (EMBRAPA-CNPS. Boletim de pesquisa, 1).

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**: 4ª Aproximação. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. (ed.). **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2015. 170 p.

MILDE, G. A.; DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Unidades de colheita: estratégias para evitar a compactação dos solos florestais. **Revista Árvore**, v. 34, p. 1075-1083, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000600013.

MILLER, R. W.; DONAHUE, R. L. **Soils**: an introduction to soils and plant growth. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990. 768 p.

PISSININ, L. Z.; SCHNEIDER, P. R. Tendências de crescimento em altura dominante de dois clones de *Eucalyptus saligna* Smith implantados em distintas condições de solo. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 263-275, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509826465.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RAMALHO FILHO, A.; HIRANO, C.; DINIZ, T. D. A. S. **Aptidão pedoclimática**: zoneamento por produto. Região do Programa Grande Carajás. [Brasília, DF]: Ministério da Agricultura - Coordenadoria de Assuntos Econômicos; [Rio de Janeiro]: EMBRAPA-SNLCS; [Belém]: EMBRAPA-CPATU, 1984. 1 v.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 2. ed. Brasília, DF: SUPLAN; Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1983. 57 p.

SANTOS, H. G. The country reports: Brazil. In: ZINCK, J. A. **Soil survey**: perspectives and strategies for the 21st Century. Rome: ITC-FAO, 1995. p. 57-63.

SANTOS, R. D.; BARRETO, W. O.; SILVA, E. F.; ARAÚJO, W. S.; CLAESSEN, M. E. C.; PAULA, J. L.; SOUZA, J. L. R.; PÉREZ, D. V; SOUZA, J. S. **Levantamento expedito dos solos das reservas florestais de Linhares e Sooretama no Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 68 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 49).

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R. Edapho-climatic zoning for *Eucalyptus urograndis* in the state of Tocantins, Brazil. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 2, n. 2, p. 62-71, 2015.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; PRELA-PÂNTANO, A.; STEINMETZ, S.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região centro-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 524-553, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57306.

WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; GARRASTAZU, M. C.; FLORES, C. A.; STEINMETZ, S.; REISSER J. C.; RADIN, B. Zoneamento agroclimático para o eucalipto no Estado do Rio Grande do Sul. In: FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; WREGE, M. S. **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na Região do Corede Sul – RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 57-63.

Apêndice

Raphael David dos Santos
Um pedólogo da Embrapa com muita história nas áreas de produção de eucalipto do Brasil

Chamado de Raphael ou Raphael David pelos colegas mais antigos, Dr Raphael David pelos mais jovens, no que todos concordam, é o carisma e a elegância do trato. O pedológo experiente sempre dividiu espaço com uma verve espirituosa, o que hoje talvez chamemos de "inteligência emocional". Quando irrompe com seu bordão preferido "Meu filho!", pode-se esperar as tiradas e os conselhos que deixam muita saudade nos companheiros de campo, afinal chegou a hora de aposentar trado, faca, chibanquinha, martelo pedológico e até banquinho de campo. Agora é a hora de descansar na sua residência, ao lado da esposa. Mas ele também confessa (por telefone) a saudade que sente do agito do trabalho, das viagens de campo, das discussões!

Raphael David dos Santos (Figuras 6, 7, 8 e 9) é um dos pedólogos que mais mapeou áreas de povoamentos florestais no Brasil. Mais que isso, foi o seu pioneirismo na região dos Tabuleiros Costeiros, apesar de muitas opiniões desanimadoras na época, que alavancou os mapeamentos de solos voltados para as empresas florestais e as interpretações desses mapeamentos na formação das chamadas "unidades de manejo florestal". Valeu e muito a sua vasta experiência em pedologia e sua visão prática incomum.

Foto: Raphael David dos Santos

Figura 6. Retirando água de um Organossolo, década de 1970.

Foto: Raphael David dos Santos

Figura 7. Apresentando perfil de solo durante Excursão Técnica sobre solos dos Tabuleiros Costeiros, em 1998.

Foto: Raphael David dos Santos

Figura 8. Nosso querido Raphael visitando as pegadas fossilizadas do Souzatitan, junto com o grupo da RCC do Nordeste, em 1998, Vale dos Dinossauros, Souza, PB.

Foto: Raphael David dos Santos

Figura 9. Raphael David e o banquinho de campo, por ele eternizado, RCC do Pantanal, em 2012.

Nascido em 21 de abril de 1929, Raphael está com 90 anos. A pedologia só perde em espaço e tempo na sua vida quando o assunto é a companheira de 65 anos de vida, a senhora Marilda Heloísa de Araújo dos Santos. Nas viagens de campo, na volta para o hotel, tinha o horário de ligar para a esposa, um ritual que ele sempre avisava aos colegas: "Meus filhos, vou subir para o quarto, pois está na hora de ligar para a esposa!". Que essa relação de companheirismo entre Raphael e a esposa fique de exemplo para os mais novos!

Entrou no Ministério da Agricultura em 1954. Lá se iniciaram os trabalhos com levantamentos de solos e a formação como pedólogo. Os primeiros trabalhos de campo foram no Estado do Rio de Janeiro e o primeiro trabalho publicado em equipe foi o "Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo", em 1960. Nos locais mais ermos, eram tempos de romper as estradas de chão em jeeps com um tambor de gasolina na capota de lona. E a alimentação e os hotéis eram, para dizer o mínimo, improvisados, quando comparados com as condições atuais.

No antigo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos da Embrapa (atual Embrapa Solos) teve sua parceria mais longeva, o projeto de parceria com a então Aracruz Celulose S.A. A parceria se iniciou em 1987 e findou em 1994. Foram 8 anos de intensa convivência com as paisagens dos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo e do sul da Bahia.

Esse projeto ainda possibilitou o ressurgimento das viagens de Correlação no Brasil. A IV RCC (RCCs são reuniões de classificação e correlação de solos, realizadas pelos pedólogos no campo, para discutir a uniformização/padronização de conceitos em termos de

território nacional). Ela foi realizada nos Tabuleiros Costeiros e veio depois de 12 anos da III RCC, realizada em 1982, iniciando um novo ciclo das RCCs que vêm até os dias de hoje.

Ao se aposentar da Embrapa Solos, em 2001, a parceria com as empresas florestais, iniciada com a então Aracruz Celulose S.A., tomou conta de sua vida profissional. Foram anos a fio mapeando solos em áreas de produção e interpretando esses mapeamentos para a atividade florestal: Bahia Sul, Suzano, Veracel, Riocell, Votorantim, Celmar e Klabin. Com excelentes serviços prestados à essa coleção de empresas, não é preciso dizer mais nada.

Raphael David é um orgulho para nós, pedólogos, por sua atuação no conhecimento dos solos do Brasil, e para os muitos colegas e companheiros de Embrapa, Universidades e empresas florestais que têm na memória os seus ensinamentos e o prazer de ter trabalhado na sua companhia.

Nosso muito obrigado ao grande pedólogo e colega Raphael David.

Nilton Curi
João Bosco Vasconcellos Gomes
Itamar Antonio Bognola

Depoimentos de colegas que conviveram com Raphael David em sua atuação profissional junto às empresas florestais

"A simplicidade, honestidade, paixão pelo trabalho e o pragmatismo caracterizam bem o incansável Dr. Raphael. Na convivência por mais de uma década aprendi muito com esse grande mestre. Raphael David compartilhou conhecimentos de pedologia de grande utilidade para o setor florestal. Um exemplo de sucesso do seu trabalho junto das empresas florestais aconteceu nos anos noventa, com a elaboração de mapas de solos aplicados ao manejo das plantações de eucalipto, nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo e Sul da Bahia. Muitos outros mapeamentos se sucederam e o conhecimento detalhado do meio físico tem sido fundamental ao desenvolvimento da silvicultura de precisão. Temos muito que agradecer ao Raphael pelos seus ensinamentos."

Sebastião Fonseca
Consultor Sênior, conviveu de forma intensa com Raphael no desenvolvimento de suas pesquisas nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo e sul da Bahia, quando atuava na área de pesquisa da então Aracruz Celulose

"Conheci o Dr. Raphael David em 1995, ainda começando como engenheiro na Bahia Sul Celulose, quando ele foi realizar o trabalho de mapeamento e classificação de solos na empresa. Tive a grande honra de poder acompanhá-lo nas saídas de campo, podendo aprender de perto com uma das maiores referências na ciência do solo, no Brasil. Sempre paciente, trabalhando do seu jeito único, com qualidade e confiança. Sempre com toda a paciência comigo e com as equipes de campo, ensinando não só os conhecimentos técnicos de solos, mas compartilhando toda uma experiência ímpar de vida. Obrigado Professor Raphael pela amizade, paciência e apoio sempre. Grande abraço."

Elias Frank de Araújo
Celulose Riograndense

"Mesmo não sendo um "Professor" de ofício, esse sempre foi o título que usamos para retribuir-lhe o nosso carinho e respeito, chamando-o de Prof. Raphael. Pessoa e profissional íntegro, de caráter, moral ilibada e de bons costumes, ensinou-nos sobre os diferentes horizontes da vida. Sempre prestativo e atencioso, exerceu com sabedoria e primazia, por meio de suas aulas, a transferência do conhecimento da pedologia em ciência prática, perpetuando o bom manejo silvicultural."

Equipe da Suzano
Aguinaldo, Atus, Marcos Marinho e Cleber Miranda
Raphael conviveu com a equipe no sul da Bahia entre 1997 e 2010

"Cidadão brasileiro, carioca, pai de família exemplar, pedólogo renomado, pesquisador da Embrapa e torcedor do Vasco da Gama. Durante mais de 60 anos percorreu os mais distantes rincões do nosso país, estudando e mapeando solos, tendo como companhia a sua inseparável caderneta de campo e o trado. O meu primeiro contato com Raphael aconteceu por volta de 2001, logo percebi que estava diante de um dos maiores especialistas em classificação de solos do Brasil. Foi o início de uma longa amizade que resultou da orientação e liderança do Raphael na retomada do mapeamento das áreas florestais da empresa Klabin, no Rio Grande do Sul, o mapeamento em Santa Catarina e também a retomada do mapeamento no Paraná. A dedicação e o comprometimento do Raphael nos trabalhos de campo, o rigor científico usado na interpretação das análises de solo, elaboração dos mapas e na redação e apresentação dos relatórios que, somados a sua cordialidade e habilidade para fazer amigos e manter laços de amizade, conquistaram o respeito de todos. A sua competência para agrupar centenas de classes de solos em simples e compreensíveis unidades de manejo, muito contribuíram para o desenvolvimento da conservação, fertilidade do solo, e nutrição de plantas no setor florestal. Raphael sempre será lembrado e fará parte da galeria dos ilustres profissionais que, nas últimas décadas, foram responsáveis pelo notável desenvolvimento alcançado em nível mundial, pelos setores agrícola e florestal brasileiro."

Djalma Miler Chaves
trabalhou por muitos anos na Klabin, onde continua atuando
como consultor nas áreas de solos e silvicultura

11

Eucalipto: desafios para a pesquisa em nutrição, na ótica da sustentabilidade florestal

Márcia Toffani Simão Soares
Shizuo Maeda
Marcos Silveira Wrege
Monica Moreno Gabira
Antônio Francisco Jurado Bellote
Guilherme de Castro Andrade
Luís Claudio Maranhão Froufe
Fabiano de Carvalho Balieiro
Guilherme Montandon Chaer
Felipe Martini dos Santos

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O Brasil está entre os principais produtores de celulose, papel e painéis de madeira no mundo, com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, sendo que o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais, contribuindo com 6,2% do PIB Industrial do País (IBÁ, 2017). A principal cultura florestal plantada é o eucalipto, atualmente em expansão quanto à abrangência de áreas em produção devido à substituição de outras espécies nos estados onde essa cultura não é tradicional (IBÁ, 2017), bem como pelo seu avanço para regiões marginais de cultivo, com condições de clima e de solo distintos daquelas onde se estabeleceram os primeiros plantios.

Apesar dos desafios apresentados durante o processo de adaptação do eucalipto no Brasil, tais como a formação de povoamentos em ampla diversidade climática e edáfica, incluindo-se solos frágeis, com baixa fertilidade natural e sob pressão de rotações sucessivas, foi possível um significativo aumento da sua capacidade produtiva ao longo dos anos, graças ao desenvolvimento científico associado, especialmente oriundo de programas de melhoramento genético e do aprimoramento de práticas silviculturais (Gonçalves et al., 2013). A literatura científica reporta saltos significativos na produtividade volumétrica nacional do eucalipto, com aumento do incremento médio anual (IMA) de 10 m^3 ha^{-1}, na década de 1960 (Gonçalves, 2014) para atuais 35 a 55 m^3 ha^{-1} (ciclo de sete anos). Esses valores são superiores aos obtidos em países como África do Sul, Chile, Portugal e Espanha (SBS, 2008).

Espera-se que, cada vez mais, a manutenção ou o aumento dos níveis de produtividade dependam de inovações que tragam estratégias de adaptação aos desafios emergentes, como a rápida propagação de pragas e doenças, o uso de áreas menos favoráveis aos cultivos, o aumento dos custos de fertilizantes (Laclau et al., 2013), os riscos relacionados às alterações climáticas resultantes da emissão antropogênica de gases do efeito estufa (GEE) (Booth, 2013) e a aceitação da atividade em novos arranjos sociais. Esforços voltados à obtenção e à adoção de avanços tecnológicos, tais como a seleção de material genético adequado às diferentes condições ambientais, o manejo do ambiente nutricional das árvores e a adoção de práticas conservacionistas de solo poderão favorecer cada vez mais a produção florestal simultaneamente à manutenção de seus serviços ecossistêmicos. Neste capítulo são relatados alguns esforços da Embrapa, de seus parceiros e da comunidade científica visando a melhorias no estabelecimento de povoamentos florestais sob a ótica do manejo nutricional e sustentabilidade dos sítios de produção, discutindo-se a relação entre solo, plantas, condições de sítios e fatores de clima.

Ambiente nutricional do eucalipto no Brasil: avanços obtidos

Durante o processo de estabelecimento da cultura de eucalipto no Brasil, muitos reflorestamentos resultaram em plantios desuniformes, culminando em produtividades, em volume de madeira, aquém do esperado (Bertolla, 2013; Venturin et al., 2014). Dentre as dificuldades encontradas, são relatadas generalizações indevidas quanto à relação entre material genético, suas aptidões climáticas e edáficas, resultando em seleção de espécies ou procedências que se apresentaram posteriormente impróprias às áreas de plantio. Somaram-se a tais questões a escassez de informações científicas aplicadas aos diferentes ambientes e genótipos, resultando em falhas no planejamento do uso da terra, na seleção de técnicas de preparo do solo (Vilas Boas Rezende et al., 2011) e na aplicação insuficiente ou desbalanceada de fertilizantes (Bertolla, 2013). O uso intensivo do solo ao longo de sucessivas rotações, sobretudo em plantios estabelecidos em solos de baixa fertilidade, também foi um fator restritivo à obtenção de produtividades aceitáveis (Gonçalves et al., 2000), vindo a resultar, em muitas circunstâncias, na superexploração dos recursos do solo (Carmo et al., 1990).

Em atendimento a estas demandas, as principais linhas de pesquisa no Brasil envolvendo o eucalipto têm considerado como essencial realizar a adequação do manejo do solo, utilizando informações sobre a demanda nutricional dos povoamentos em diferentes estágios de desenvolvimento, sob condições distintas de aporte, manutenção, velocidade de fluxo e transferência de nutrientes entre os compartimentos do sistema florestal (Gonçalves, 2014), contemplados e contextualizados às condições de clima e de solo e ao material genético, conforme sintetizado adiante.

Demanda de nutrientes durante o desenvolvimento das árvores

Somada à disponibilidade hídrica (Novais; Barros, 1997; Stape et al., 2004, 2010), limitações quanto à oferta de nutrientes às plantas em determinados estágios podem comprometer significativamente o estabelecimento do povoamento e a produção final do eucalipto em volume de madeira. Informações sobre a demanda nutricional, em diferentes fases de desenvolvimento da cultura, e sobre a eficiência dos materiais genéticos em converter o material absorvido em biomassa, têm sido imprescindíveis para a adequação do manejo nutricional dos povoamentos florestais às diferentes condições de manejo.

Os estágios nutricionais das árvores são didaticamente divididos em antes e depois do fechamento das copas, conforme apresentado por Gonçalves et al. (2000) e ilustrado na Figura 1. Nela, são apresentadas mudas de *E. grandis* recém estabelecidas no campo, em fase de adaptação, quando sua eficiência em converter nutrientes em

Foto: Márcia Toffani Simão Soares (A, B, C, E); Francisco Antônio Jurandir Bellote (D)

Figura 1. Aspecto de povoamentos florestais em diferentes estágios de desenvolvimento (A - E), com destaque para a dinâmica nutricional predominante em cada período. Em A e B, estágio inicial de desenvolvimento das árvores, com indicação de alocação de fotoassimilados para o desenvolvimento de raízes e copas. Em D, bandejas coletoras de folhas senescentes e, em E, detalhe da interface solo – serapilheira – raízes finas.

biomassa é menor (Figura 1A). Após essa fase, a habilidade em absorção, acúmulo de nutrientes e alocação da biomassa para formar copas e raízes aumenta, sendo comuns as respostas à fertilização nesse estágio de desenvolvimento (Figuras 1B e 1C). Após o fechamento das copas estabelece-se com maior intensidade a ciclagem biogeoquímica de nutrientes (Figuras 1D e 1E), quando a demanda de nutrientes pelas árvores é, em grande parte, atendida pela ciclagem interna e por nutrientes disponibilizados

pela serapilheira. O manejo dessa biomassa residual acima do solo pode, neste estágio, assumir vital importância para a promoção do uso racional de nutrientes no sistema solo-planta, oportunizando economia no uso de insumos, diminuição de perdas por emissões atmosféricas, de gases poluentes, por lixiviação e por outros processos que possuem potencial de contaminação do ambiente (Soares; Froufe, 2015).

Extração e exportação de nutrientes

A estimativa da extração e exportação de nutrientes pelos diferentes compartimentos das árvores (Figura 2) possibilita expressar a demanda de povoamentos florestais por recursos do solo (Bellote et al., 2000). Embora tais estimativas variem

Figura 2. Compartimentalização da biomassa aérea de *Eucalyptus* spp. para avaliação da extração e exportação de nutrientes: determinação da biomassa de folhas, galhos (A - C) e cascas (D e E).

em função de fatores ambientais, de manejo e genéticos (vide item Eficiência no uso de nutrientes e seleção de materiais genéticos), resultados obtidos em diferentes condições pedoclimáticas (Bellote et al., 1980; Poggiani et al., 1983, 1984; Faria et al., 2008; Santana et al., 2008) expressam o potencial da cultura em exportar quantidades muito maiores de nutrientes do que aquelas usualmente recomendadas via fertilização mineral (Tabela 1), o que justifica a preocupação com a manutenção da sustentabilidade da produção florestal ressaltada em diversos documentos científicos, por diferentes grupos de pesquisa atuantes no território brasileiro (GPTNFF, 1983; Silva et al., 1983a, 1983b; Ferreira, 1993; Bellotte et al., 2001; Andrade et al., 1995, 2011; Gonçalves, 2014; Souza et al., 2016).

Tabela 1. Nutrientes acumulados em diferentes compartimentos da árvore em povoamentos de *E. grandis* estabelecidos em Latossolo (1.500 árvores ha^{-1}), aos sete e 12 anos de idade.

Nutrientes	Idade das árvores (anos)	Componentes das árvores (kg ha^{-1})				Total
		Alburno	Cerne	Casca	Copa	
N	7	126,8	78,0	59,3	253,5	517,6
	12	116,9	81,7	53,3	211,3	463,2
P	7	8,6	0,4	3,8	13,2	26,0
	12	16,6	-	14,0	15,8	45,9
K	7	123,4	17,5	55,2	77,5	274,2
	12	64,0	5,4	37,8	126,4	233,6
Ca	7	37,0	22,9	97,6	53,8	211,3
	12	23,0	14,1	98,0	79,0	214,1
Mg	7	21,7	8,8	39,2	36,0	105,9
	12	12,3	3,7	14,3	23,6	53,9

Fonte: Bellote et al. (2001).

As informações constantes na Tabela 1 indicam que a colheita apenas do lenho, por exemplo, pode representar expressiva redução na exportação de nutrientes do sítio florestal, conforme também apontado por Santana et al. (2008) para povoamentos estabelecidos em diferentes regiões do Brasil.

Eficiência no uso de nutrientes e seleção de materiais genéticos

O conceito de eficiência das plantas no uso de nutrientes abrange os processos de absorção, translocação, acúmulo e uso destes para a produção de matéria seca ou grãos, em condições nutricionais normais ou adversas (Pozza et al., 2009). Uma ferramenta voltada à nutrição florestal para a avaliação da eficiência nutricional das plantas é a obtenção da "eficiência no uso dos nutrientes" (EUN), que expressa a

quantidade de matéria orgânica que é produzida a cada unidade de nutriente que é absorvido pela planta (Chapin III, 1980), refletindo a eficiência da planta em converter nutriente em biomassa. A EUN permite identificar, entre as espécies estudadas, aquelas que proporcionem maior produção de biomassa com um menor requerimento de nutrientes (Vitousek, 1982; Silva et al., 1983b), possibilitando, desta forma, uma economia de insumos e menor pressão sobre o estoque de nutrientes disponíveis no solo.

Documentos publicados nos últimos 40 anos, em condições tropicais, evidenciam a existência de significativas diferenças na produção de biomassa e na eficiência nutricional entre genótipos de eucalipto (Silva et al., 1983a, 1983b; Pinto et al., 2011; Oliveira, 2017), quanto à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes em relação aos diferentes materiais genéticos, bem como em função do nutriente avaliado (Pinto et al., 2011).

Na Tabela 2 estão apresentados os índices de eficiência de utilização de nutrientes (EUN) para o lenho e casca, em solo de baixa fertilidade natural, obtidos por Silva et al. (1983b), a partir de um ensaio envolvendo *E. grandis, E. saligna, E. propinqua, E. dunnii e E. robusta*, com dez anos de idade, no estado de São Paulo. Nas condições de estudo, para produção do lenho, o fósforo (P) é o elemento mais eficientemente utilizado por todas as espécies, seguido pelo magnésio (Mg), potássio (K), nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Dentre as espécies, *E. grandis* destacou-se pela alta eficiência de utilização de P e K, produzindo 43.441 kg kg^{-1} P utilizado de valor de biomassa do lenho e 3.776 kg kg^{-1} P utilizado de casca. Conforme os autores, a alta eficiência no uso de nutrientes reflete sua menor exigência nutricional, o que é um aspecto desejável

Tabela 2. Índice de eficiência de utilização de nutrientes para produção de biomassa no lenho e casca, em cinco espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha^{-1}	kg de biomassa produzida/kg de nutriente utilizado				
Lenho						
E. grandis	160,3	1250	43441	1639	606	2083
E. saligna	168,7	883	26380	1389	532	2326
E. propinqua	85,7	883	10645	769	694	4348
E. dunnii	125,6	1316	18858	901	474	3030
E. robusta	117,4	633	11365	869	559	4000
Casca						
E. grandis	23,3	345	3776	333	327	1031
E. saligna	15,5	268	3846	299	151	426
E. propinqua	17,5	332	4070	446	578	729
E. dunnii	14,9	580	6878	408	356	1099
E. robusta	16,7	446	3584	382	316	495

Fonte: Silva et al. (1983b), adaptado.

quanto ao uso de recursos naturais. Os dados também ilustram a possibilidade de variação da eficiência de utilização de nutrientes entre distintos materiais genéticos, bem como em função do nutriente avaliado, o que também corrobora com os resultados obtidos em outras condições pedoclimáticas (Morais et al., 1990; Molica, 1992; Faria et al., 2008; Oliveira, 2017).

Técnicas de preparo do solo e a capacidade de resiliência das florestas plantadas

As plantações de eucalipto, comparativamente às culturas agrícolas, podem beneficiar o funcionamento biológico, físico e químico do solo sob diversos aspectos, estabelecendo, de acordo com o manejo, uma forte interação floresta-solo (Gonçalves, 2014, vide item Fertilidade e nutrição do eucalipto em simbiose com micorrizas). O preparo do solo para plantio compreende uma etapa de crucial importância para a manutenção da estabilidade e resiliência do sistema florestal (Gonçalves, 2002). Práticas inadequadas de manejo do solo, por outro lado, podem comprometer substancialmente a qualidade do sítio, ocasionando menor resistência das plantas e provocando diminuições no crescimento e na produtividade florestal (Bellote et al., 2008a).

O preparo do solo tem como objetivo melhorar suas condições para o desenvolvimento do sistema radicular, a fim de aumentar o volume explorado pelas raízes, favorecendo a sustentação, o transporte e a absorção de água e de nutrientes pelas plantas. Gonçalves et al. (2000) agrupam os métodos de preparo do solo em duas classes: (i) cultivo intensivo do solo, que contempla amplo revolvimento de suas camadas superficiais, com incorporação total ou parcial dos resíduos culturais ou, alternativamente, queima dos resíduos culturais para a facilitação dos implementos de preparo do solo, e (ii) o cultivo reduzido do solo (cultivo mínimo), que prevê a realização de um preparo localizado apenas na linha ou na cova de plantio. Este último método possibilita a manutenção da maior parte dos resíduos culturais sobre a superfície do solo, o que inclui a serapilheira, galhos, ponteiros, folhas deixadas pós-colheita e, dependendo do método de colheita, cascas oriundas da remoção da madeira no campo (Figura 3). As técnicas de preparo mais conservacionistas apresentaram boa aderência e difusão pelo setor florestal brasileiro nas últimas décadas, em reflexo à demanda multissetorial pela associação entre produtividade e sustentabilidade ambiental. Neste tocante, desde a década de 1980 a Embrapa vem contribuindo com o estudo comparativo de sistemas e práticas de manejo do solo em diferentes regiões do Brasil, em atendimento à adequação regionalizada das operações florestais.

Além de se constituir em um importante reservatório de nutrientes (vide item Extração e exportação de nutrientes), conservar os resíduos da colheita na superfície do solo traz uma série de benefícios ao sistema produtivo, tais como a redução da erosão, a conservação da umidade (Cavichiollo et al., 2004; Dedecek et al., 2007) e a

Fotos: Márcia Toffani Simão Soares

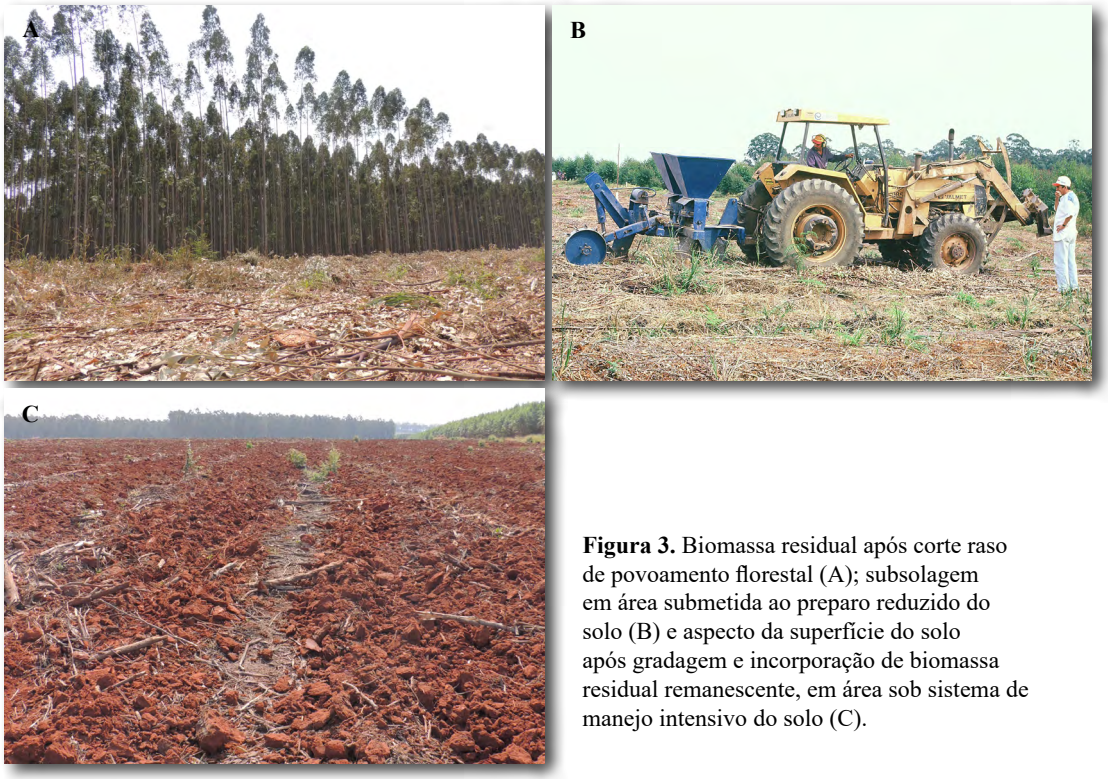


Figura 3. Biomassa residual após corte raso de povoamento florestal (A); subsolagem em área submetida ao preparo reduzido do solo (B) e aspecto da superfície do solo após gradagem e incorporação de biomassa residual remanescente, em área sob sistema de manejo intensivo do solo (C).

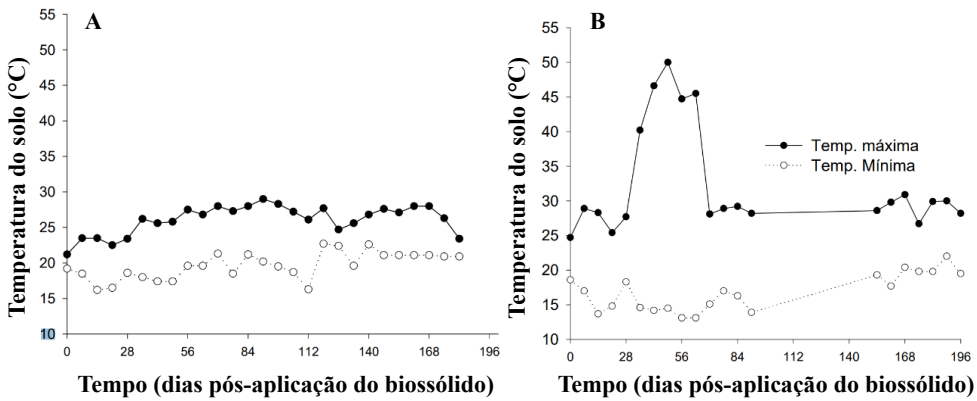


Figura 4. Temperaturas mínima e máxima do solo (a 5 cm de profundidade) com (A) e sem (B) serapilheira sobre a superfície.

Fonte: Soares (2003).

regulação da temperatura do solo (Soares, 2003). Na Figura 4 é apresentada a variação de temperatura em plantios de eucalipto nos estágios iniciais de desenvolvimento, sob mesma classe de solo e condições climáticas, diferindo quanto à presença de serapilheira, com diferença entre sítios superior a 20 °C. Diversos processos de transferência de nutrientes são alterados nas condições de altas temperaturas do solo, tais como o aumento da atividade da urease, com o consequente aumento das taxas de volatilização do $N\text{-}NH_3$ (Silva et al., 2017).

É importante salientar que o crescimento inicial de povoamentos florestais estabelecidos no método de cultivo mínimo do solo, em muitas situações, se apresenta mais lento e heterogêneo do que aquele observado no método de cultivo intensivo do solo (Gonçalves et al., 2000). Os fatores para essa eventual vantagem inicial sob cultivo intensivo são apresentados por Cavichiollo et al. (2004), a partir dos resultados obtidos em área de rebrota de *E. saligna* sob Latossolo Vermelho textura argilosa, pertencente à Cia. Suzano de Papel e Celulose, no município de São Miguel Arcanjo, SP. Nesse estudo, os autores verificaram maior incremento do diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores em solo revolvido (submetido à gradagem) nas entrelinhas da rebrota em relação ao controle (sem revolvimento), com aumento nas concentrações de K no solo e no tecido foliar. Segundo os autores, o revolvimento do solo, bem como a alteração da porosidade do solo podem proporcionar maior contato e reação da matéria orgânica contida nos restos da colheita, serapilheira e fertilizantes, resultando em uma série de benefícios ao ambiente nutricional das plantas, como melhores condições de desenvolvimento das raízes e estímulo à mineralização da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes às plantas. Todavia, Cavichiolo et al. (2003) reportaram, para a mesma espécie em Latossolo Amarelo textura média em Itatinga (SP), menor produtividade da rebrota sob gradagem, fato explicado pelo aumento da evaporação de água do solo, afetando o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Os benefícios de médio e longo prazos associados ao estabelecimento de cultivo mínimo do solo estão também elucidados nos resultados das pesquisas desenvolvidas na região Sudeste do Brasil pela Embrapa Florestas, em parceria com o Centro Internacional de Investigação Florestal (CIFOR) e a International Paper, em plantio comercial de *E. grandis* sob diferentes tipos de manejo de resíduos florestais (Dedecek et al., 2007; Bellote et al., 2008a), ressaltando a importância da escolha do adequado manejo de resíduos, associado à reposição de nutrientes para a sustentabilidade florestal (Bellote et al., 2008a).

Demandas e desafios para o manejo da fertilização

Avaliação da adequação do estado nutricional das plantas

A avaliação da adequação do estado nutricional das plantas constitui-se em um dos grandes desafios de pesquisa em nutrição de plantas, sendo a busca por métodos eficientes objeto de diversas pesquisas, a fim de adequar técnicas e processos às diferentes condições de clima, solo e nível tecnológico adotado. A avaliação da necessidade de fertilização emprega, geralmente (i) a análise química do solo, (ii) a análise foliar, (iii) o diagnóstico de sintomas visuais de deficiência nutricional e (iv) ensaios de campo. A avaliação das respostas da planta à fertilização via ensaios de campo, em solos representativos e com condições semelhantes às áreas de plantio extensivo é considerada como o método ideal para a recomendação de fertilização, embora oneroso e geralmente restrito às instituições públicas de pesquisa e empresas florestais, visto a sua complexidade de execução (Gonçalves, 2014).

Atualmente, as análises de solo e de tecido vegetal são os principais métodos utilizados para esse objetivo, dada à praticidade e ao menor custo, possibilitando intervenções nos povoamentos em tempo hábil, quando necessário. Atualmente, estão disponíveis tabelas de interpretação de análise do solo para a recomendação de fertilizantes para as principais espécies florestais quanto à importância econômica, conforme apresentado por Raij et al. (1996), Ribeiro et al. (1999), Bellote e Neves (2001), Bellote et al. (2008b), Prezotti et al. (2007), Pauletti e Motta (2017). Nessas recomendações, todavia, fatores locais e circunstanciais como variações na temperatura e umidade do solo e interações com microorganismos não são levados em consideração na interpretação dos resultados, podendo limitar a eficiência do método em avaliar a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas plantas.

Complementarmente à análise de solo, as técnicas de diagnóstico de sintomas visuais de deficiência nutricional e a análise foliar consideram que os conteúdos dos nutrientes da planta refletem, assim como a fertilidade do solo, seu estado nutricional (Bellote; Silva, 2000). A diagnose do estado nutricional com base na análise foliar consiste em comparar os resultados analíticos de uma amostra com um padrão de referência, que normalmente é obtido de uma planta ou uma população de plantas de alta produtividade, portanto, sem deficiência de nutrientes. A produtividade das plantas depende da disponibilidade em níveis adequados de fatores de produção, que podem ser agrupados em fatores climáticos (radiação solar, temperatura e precipitação pluvial – disponibilidade hídrica), edáficos (profundidade efetiva do solo, aeração, oferta de água e nutrientes, susceptibilidade à erosão, pedregosidade, por exemplo) e bióticos (potencial genético, pragas, doenças e plantas invasoras). Dessa forma,

plantas adequadamente nutridas podem exteriorizar todo seu potencial produtivo desde que não ocorram restrições relacionados a outros fatores de produção.

A análise de tecidos é um método mais direto para a avaliação do estado nutricional das plantas, comparada à análise de solo. Todavia, seu uso e interpretação demandam esforços voltados à padronização da amostragem, considerando-se fatores como localização do plantio (solo e clima), época de amostragem, espécie/genótipo amostrado, idade, estágio fisiológico da planta e posição da amostra na copa da árvore (Bellote; Silva, 2000), a fim de minimizar variações nos teores de nutrientes dos tecidos avaliados.

A interpretação das informações obtidas nas análises de tecido foliar, assim como do solo, comumente é feita com base em tabelas de níveis ou faixas de teores, as quais normalmente são desenvolvidas a partir de estudos de calibração, que relacionam teores de nutrientes e produtividade. Por esses métodos, teores de nutrientes abaixo ou acima dos valores ou faixas críticas estão associados com baixo crescimento vegetativo, rendimento ou qualidade do produto obtido. Tais procedimentos podem apresentar restrições por focarem na interpretação de cada nutriente de forma isolada, desconsiderando as relações entre os mesmos e, dessa forma, o equilíbrio nutricional.

Dentre as estimativas por modelos matemáticos, o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) desenvolvido por Beaufils (1973) representou um avanço na forma de interpretação dos dados analíticos de tecidos de plantas, por considerar as relações entre os nutrientes e o equilíbrio nutricional na planta. Esse método expressa os resultados da diagnose nutricional por meio do índice DRIS, que representa o efeito de cada nutriente no estado nutricional da planta, numa escala contínua. Tais índices podem apresentar valores positivos ou negativos, indicando, respectivamente, excesso ou falta do nutriente e, quanto mais próximo de zero, melhor o estado nutricional (Walworth; Sumner, 1987; Beverly, 1991). Esse sistema é considerado por muitos autores como sendo mais preciso que os métodos do nível crítico ou da faixa de suficiência na detecção de deficiências ou excessos nutricionais, por considerar o balanço nas relações entre nutrientes. A obtenção das normas ou valores de referência do DRIS, bem como a operacionalização deste sistema requer, todavia, o uso de um banco de dados com resultados analíticos de teores foliares de nutrientes de uma população de amostras padronizadas, com informações sobre a produtividade de biomassa do fuste, quanto à idade da planta e posição de coleta das amostras.

Com o intuito de melhorar a capacidade diagnóstica do DRIS, modificações foram propostas com relação à forma de obtenção das normas ou valores de referência e na forma de cálculo do índice do DRIS apresentada por Beaufils (1973) e na interpretação desses índices (Jones, 1981; Elwali; Gascho, 1984; Wadt et al., 1998, 1999). No Brasil, o sistema DRIS foi estudado em diversas culturas, entre as quais o arroz (Guindani et al., 2009), feijão (Mesquita et al., 2018), soja (Maeda, 2002; Kurihara, 2004; Kurihara, et al., 2014), macieira (Nachtigall; Dechen, 2007), algodoeiro (Kurihara et al., 2014),

girassol (Lantmann et al., 2003), cafeeiro (Bataglia et al, 2004), pinus (Maeda et al., 2011), e eucalipto (Wadt et al., 1998a, 1998b, 1999a, 1999b, 1999c; Wadt; Novais, 1999, Silva et al., 2004; Wadt, 2004). Para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, valores e normas de referência preliminares do DRIS, utilizados para os cálculos dos dos seus respectivos índices, foram apresentados por Wadt et al. (1999c). Wadt (2004), ao avaliar o estado nutricional de oito clones de *E. grandis*, com idade de 1,0 e 4,7 anos, cultivados em dois solos (Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho Amarelo), verificaram maior coerência para o padrão nutricional pelo método DRIS em comparação ao do nível crítico.

Os resultados favoráveis para eucalipto e outras culturas apontam para a necessidade de se ampliar a pesquisa em diferentes condições de solo, clima, idade e material genético para fins de aprimoramento e, posteriormente, validação da técnica em condições reais de cultivo.

Manejo da fertilidade do solo e associações simbióticas em florestas

A introdução ou manejo de organismos do solo mediadores dos ciclos do C e nutrientes pode trazer uma série de benefícios sob o aspecto produtivo e quanto à manutenção ou aumento da resiliência dos ambientes florestais. Neste contexto, estudos sob condições tropicais em plantios mistos com *Eucalyptus* spp. e espécies arbóreas fixadoras de N_2 têm resultado em importantes informações voltadas à capacidade de armazenamento de C e o potencial de reposição de N do solo removido por sucessivas rotações (Bernhard-Reversat, 1996; Parrotta, 1999; Corbeels et al., 2005; Forrester et al., 2005; Laclau et al., 2010; Voigtlaender et al., 2012; Bouillet et al., 2013; Santos et al., 2017; Tchichelle et al., 2017), com ganhos adicionais em madeira e o estabelecimento de diversos outros serviços ecossistêmicos (Balieiro et al., 2020b). As associações entre fungos micorrízicos e raízes de eucalipto também têm atraído a atenção da comunidade científica, com resultados importantes quanto à compreensão da interação hospedeiro-fungo em diferentes condições ambientais e estágios de desenvolvimento da cultura (Auer; Bettiol, 1986; Trindade et al., 2001; Carvalho; Amazonas, 2002; Pagano; Scotti, 2008; Faria et al., 2017). Os principais resultados obtidos pela Embrapa e comunidade científica quanto aos benefícios destas associações simbióticas em plantios eucalipto são sintetizados a seguir.

Uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio

Dentre as relações envolvendo microorganismos e plantas, os processos de simbiose envolvendo leguminosas e bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas (“rizóbio”) apresentam grande interesse técnico e científico, por sua importância econômica em diferentes sistemas de produção. Esta simbiose se caracteriza pela

formação de estruturas hipertróficas nas raízes e, excepcionalmente, no caule, denominadas nódulos, onde ocorre a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (FBN) (Moreira; Moreira, 2006).

Das espécies de leguminosas arbóreas introduzidas no Brasil, que se associam a bactérias fixadoras de N_2 (diazotróficas), a *Acacia mangium* Wild. tem atraído a atenção da comunidade científica nacional pelo seu rápido crescimento, sua adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas (Balieiro et al., 2004, 2018), pela possibilidade de uso múltiplo na propriedade rural, pela sua capacidade de fixação de N_2 atmosférico e de estabelecimento de relações simbióticas com fungos micorrízicos, o que facilita seu desenvolvimento em solos pobres em nutrientes e matéria orgânica (Franco et al., 1995; Garay et al., 2003; Bouillet et al., 2013). Segundo Brockwell et al. (2005), as taxas de FBN observadas em condições de campo para as espécies do gênero *Acacia* arbustivas e arbóreas variam de 2% a até 90% do nitrogênio acumulado na biomassa da planta, corroborando com achados exclusivos no Brasil (0-70%) (Bouillet et al., 2008; Paula et al., 2018; Faria et al., 2020). Essa amplitude ocorre por fatores relacionados à idade e qualidade de sítio, à variabilidade genética dentro do gênero *Acacia* e à capacidade do gênero em nodular, em associação com um largo espectro de espécies de "rizóbio", resultando em uma eficiência simbiótica variável. Alguns aspectos relacionados aos benefícios da introdução de leguminosas arbóreas em monocultivos de eucalipto estão relacionados adiante.

- Plantios mistos x produção de madeira para fins energéticos ou industriais

Diversos estudos apontam que o fornecimento de madeira para fins energéticos ou industriais (papel e celulose) por meio de plantios mistos de *Eucalyptus* spp. e espécies fixadoras de N_2 (sem adubação nitrogenada) podem atingir níveis similares ou mesmo maiores do que algumas monoculturas de eucalipto (Binkley et al., 1992; Kaye et al., 2000, Forrester et al., 2013; Koutika et al., 2014; Santos et al., 2016), embora esse fato não seja generalizado, variando em função das condições de clima e de solo. Em uma meta-análise realizada por Marron e Epron (2019) com 148 estudos de caso, os autores verificaram que os plantios mistos de espécies florestais são, em média, 18% mais produtivos do que cultivos monoespecíficos não fixadores de N_2, sendo este efeito significativo sob condições temperadas (24% mais produtivos), mas não em condições tropicais (12% mais produtivos). Os autores atribuíram os resultados obtidos à menor disponibilidade de N assimilável, geralmente verificada em solos de clima temperado. Além das respostas das espécies serem, de modo geral, sítio-específica, estes resultados também sugerem a ocorrência de uma mudança de partição do carbono fixado em raízes, em detrimento da parte aérea, o que pode, em algumas situações, desfavorecer a produção nos plantios estabelecidos em condições tropicais, com solos geralmente mais pobres e ácidos (Nouvellon et al., 2012; Epron et al., 2013). Santos et al. (2016), ao analisarem dados de uma rede de experimentos com

Eucalyptus e *A. mangium*, incluindo cinco sítios de plantio no Brasil, verificaram que a produção global de madeira em plantios mistos foi maior apenas onde os solos eram mais oligotróficos (arenosos) e onde o clima apresentava temperatura média anual superior a 24 °C, quando a condição se torna propícia ao crescimento de *A. mangium*. Incrementos médios anuais de madeira na colheita (aos seis anos de idade) em plantios puros de *Eucalyptus* spp. (100E) e *A. mangium* (100A) e misto (50A: 50E), no Brasil e no Congo, são sintetizados na Tabela 3, em que se atesta o comentário anterior, no qual pode se verificar a possibilidade de aumento do IMA em plantações mistas (50A: 50E) em locais de solos mais arenosos ou pobres, quando comparadas às plantações puras de eucalipto (Nouvellon et al., 2012; Santos et al., 2016).

Tabela 3. Incrementos médios anuais (IMA) de madeira na colheita (aos seis anos de idade) em plantios puros de *Eucalyptus* spp. (100E), *A. mangium* (100A) e plantios mistos com essas duas espécies (50A: 50E), em diferentes sítios florestais.

Local do plantio	*Eucalyptus* spp. (100E)	*A. mangium* (100A)	*A. mangium* + *Eucalyptus* spp. (50A: 50E)	Fonte
	IMA (Mg ha^{-1} ano^{-1})			
Brasil				
Itatinga, SP (USP)	18,2	10,5	14,7	Bouillet et al. (2013)
Luis Antônio, SP (I. Paper)	21,8	4,8	18,4	Bouillet et al. (2013)
Bofete, SP (Suzano)	21,1	11,5	18,9	Bouillet et al. (2013)
Seropédica, RJ*	15,8	11,4	18,3	Santos et al. (2016)
Congo*	7,6	6,5	9,9	Nouvellon et al. (2012)

* Sítios com solos muito arenosos.

• Deposição de N e decomposição da serapilheira

Pesquisas recentes têm evidenciado que, em sistemas estabelecidos nos trópicos com uso de leguminosas arbóreas fixadoras de N_2, a deposição de N via serapilheira pode sofrer um aumento de até 42% quando comparado com plantios monoespecíficos, evidenciando o potencial deste sistema em substituir parcial ou totalmente a adubação nitrogenada (Balieiro et al., 2020a, Figura 5).

Embora as espécies fixadoras de N_2 frequentemente possuam concentrações maiores de N em seus tecidos, tal característica não garante taxas mais elevadas de decomposição de seus resíduos (Gartner; Cardon, 2004). As melhorias esperadas com a introdução de espécies arbóreas fixadoras de N_2 na decomposição dos resíduos, na atividade microbiana e na liberação de nutrientes (especialmente N), estão condicionadas pela qualidade química e estrutural da biomassa que formará a serapilheira (Novotny et al., 2013; Bachega et al., 2016; Santos et al., 2018), e a atuação conjunta dos microrganismos advindos de cada resíduo, impulsionando a sua decomposição

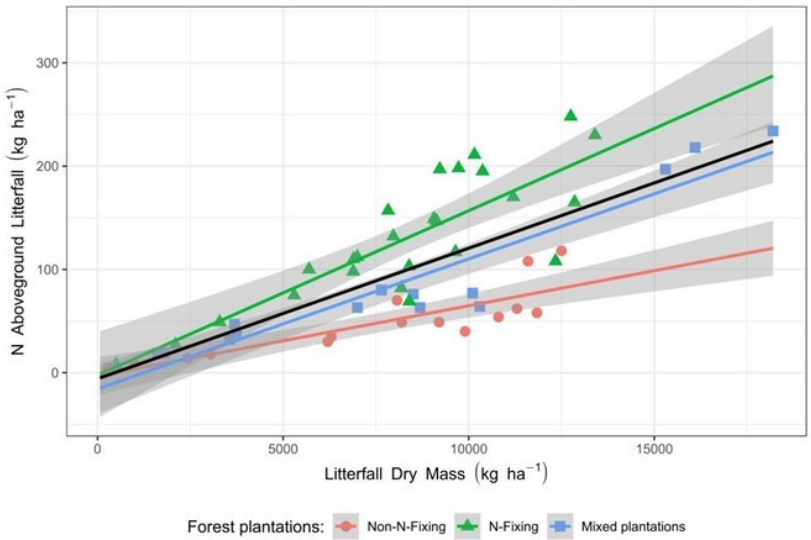


Figura 5. Gráfico de dispersão entre a massa de serapilheira depositada e N, a entrada de N via serapilheira (kg ha^{-1}) em plantios puros de leguminosas fixadoras de N_2 atmosférico ("N_2-fixing"), de não leguminosas ("Non-N_2-fixing") e plantios mistos ("Mixed plantations"). Dados de n = 53 de estudos com plantios mistos. A linha preta representa a regressão linear independente do plantio (r^2 = 0,60, p <0,001). A linha vermelha de regressão (círculos) indica as espécies não leguminosas e não fixadoras de N_2, a linha azul (quadrados) representa os plantios mistos com densidade equivalente de plantas, mas metade com leguminosas fixadoras de N_2 e outra metade não leguminosas e não fixadoras (E50: A50) e linha verde (triangulo) representam os plantios com leguminosas fixadoras de N_2. A sombra representa o erro padrão de cada tratamento avaliado.

Fonte: Balieiro et al. (2020a).

(Forrester et al., 2006; Rachid et al., 2015; Santos et al., 2018). Bachega et al. (2016), por exemplo, verificaram que a decomposição de folhas e raízes finas de acácia eram marcadamente mais lentas que a de resíduos de eucalipto, apesar das maiores concentrações iniciais de N e P em ambos os tecidos da acácia (respectivamente 1,9 e 1,5 vezes maior para folhas e 2,9 e 3,3 vezes para raízes). Os autores atribuem as baixas taxas de decomposição verificadas à qualidade do C disponível nas florestas plantadas em condições tropicais, dentre outros fatores, conferindo uma condição mais desfavorável à atividade microbiana. Importante salientar que a infinidade de alternativas de espécies com potencial diazotrófico e de condições de plantio requerem a ampliação dos esforços de pesquisa voltados ao manejo de plantios mistos em diferentes sítios florestais.

• Modificações na fertilidade do solo

Espécies leguminosas que se associam a bactérias diazotróficas normalmente acidificam o solo rizosférico, pela extrusão diferenciada de H^+ e liberação de ácidos

orgânicos e fosfatases ácidas, como uma estratégia de solubilizar fosfatos do solo (Raven et al., 1990; Vance, 2001; Venterink, 2011). Assim, com o avanço da idade dos plantios, verifica-se uma forte tendência à diminuição do pH e das concentrações de P disponível no solo. Estudos voltados à lógica de adubação desses plantios devem considerar seguir minimamente a regra da reposição do que é exportado, com atenção às outras possibilidades de perda de nutrientes por erosão, lixiviação, denitrificação, dentre outros processos, buscando compensá-las.

• Modificações nos estoques de C do solo

As plantações de eucalipto apresentam um potencial para o aumento do C do solo, especialmente se precedido por pastagens degradadas (Lima et al., 2006). A introdução de leguminosas associadas a bactérias diazotróficas às monoculturas de eucalipto tem ganhado expressão nos últimos anos, devido ao aumento dos estoques de C no solo constatado em alguns desses plantios (Kaye et al., 2000; Balieiro et al., 2008; Forrester et al., 2013). Este efeito tem sido parcialmente atribuído ao incremento de C em compartimentos mais lábeis da matéria orgânica do solo, em plantios mistos e puros de *A. mangium*, muito provavelmente pela baixa velocidade de decomposição de seus resíduos (Bini et al., 2013; Koutika; Mareschal, 2017). Este fenômeno não pode ser generalizado, pois condições abióticas locais e manejo florestal podem trazer restrições significativas para o aumento efetivo de C no solo (Chaer; Tótola, 2007; Fialho; Zinn, 2014; Cook et al., 2016). Espécies e arranjos de plantio devem ser adaptados às condições distintas de plantio, para assegurar a manutenção ou sequestro de C em solos que recebem plantios mistos.

Fertilidade e nutrição do eucalipto em simbiose com micorrizas

As associações entre fungos micorrízicos e raízes podem conferir às plantas uma série de vantagens adaptativas à sua sobrevivência, desenvolvimento e tolerância a estresses, tais como o aumento na produção de enzimas antioxidantes (Wu; Zou, 2009), alteração dos níveis hormonais e mudanças na condutância estomática, aumento do conteúdo de água dos tecidos vegetais, dos teores de clorofila e das taxas fotossintética (Zhu et al., 2012; Frosi et al., 2016) e transpiratória (Harris-Valle et al., 2009; Zhu et al., 2012; Santander et al., 2017). Essas associações podem possibilitar, ainda, maior longevidade das raízes (Eissenstat et al., 2000) e melhor absorção de nutrientes (Marschner; Dell, 1994; Silva et al., 2007), principalmente P (Trajano et al., 2001). Quanto aos processos envolvendo a ciclagem de nutrientes, o micélio fúngico pode favorecer a mineralização da matéria orgânica do solo (Paterson et al., 2016), facilitar a aquisição de nutrientes pelo hospedeiro (Bender et al., 2015; Thirkell et al., 2016), e melhorar o ambiente nutricional do solo pela formação de agregados mais estáveis (Dai et al., 2015; Qin et al., 2017) e mais aptos a trocas de água e ar entre solo e raízes (Al-Kaisi et al., 2014), com a liberação de seu exsudato, a glomalina (Kohler

et al., 2017). Todos estes aspectos são desejáveis para melhoria da qualidade morfofisiológica de mudas de espécies florestais produzidas em viveiro (Soares et al., 2017; Souza et al., 2017) e para garantir melhores condições de sobrevivência e desenvolvimento das árvores no campo (Mello et al., 2009; Zong et al., 2015).

Os fungos ectomicorrízicos são comuns em povoamentos de eucalipto, sendo a formação simbiótica com este grupo de microrganismos requerida para a sobrevivência de muitas espécies de árvores, incluindo as comercialmente importantes como *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. (Carvalho; Amazonas, 2002, Mello et al., 2009). Embora as associações com fungos ectomicorrízicos sejam as mais estudadas (Mello et al., 2006), vários autores descrevem também a ocorrência da associação de espécies do gênero com endomicorrizas (Santos et al., 2001; Gange et al., 2005; Pagano; Scotti, 2008; Pagano et al., 2009).

No semiárido mineiro, Pagano et al. (2009) avaliaram a colonização micorrízica nas raízes de plantas de *E. camaldulensis* e *E. grandis*, associando-as ao crescimento e ao teor de nutrientes em cada espécie. Os autores observaram que ambas as espécies apresentaram colonização por ectomicorrizas, sendo que as raízes de *E. camaldulensis* também apresentaram colonização por hifas e vesículas, sugerindo a ocorrência de endomicorrizas da família Glomeraceae. Quanto ao aspecto nutricional, os autores relacionaram os maiores teores de nutrientes (especialmente N e P) observados na biomassa seca de *E. grandis* à ocorrência de ectomicorrizas, sugerindo que os abundantes basidiocarpos (provavelmente pertencente ao fungo *Pisolithus* sp.), especialmente nas áreas sob *E. grandis,* poderiam permitir a absorção de fósforo e outros nutrientes. Bini et al. (2018) observaram que o consórcio entre *E. grandis* e *Acacia mangium,* sob condições tropicais e com idades entre sete e vinte meses, estimulou a colonização das raízes de *E. grandis* com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), bem como a atividade da enzima fosfatase no solo, possibilitando a aceleração da ciclagem de nutrientes na floresta. Recente estudo realizado por Robin et al. (2018) identificou, para uma plantação de *E. grandis* com cinco anos de idade no Brasil e ambiente com mais de 80% da comunidade fúngica representado pelo fungo *Pisolithus* sp., hifas alcançando profundidade de até 4 m. Tais informações reforçam a necessidade do melhor conhecimento da interação plantas e microrganismos para se avançar no manejo químico de solos sob florestas, considerando sua complexidade ecológica.

Manejo dos povoamentos florestais sob estresses climáticos

A literatura científica tem reportado o comprometimento potencial ou real da atividade florestal por diferentes estresses climáticos, tais como ventos (Braz et al., 2014), tempestades severas, chuvas de granizo, estiagens (Gonçalves et al., 2017) e geadas (Paludzyszyn Filho et al., 2006; Wrege et al., 2018), que chegam a causar

prejuízos irremediáveis em povoamentos inteiros (Mitchell, 2013; Ataíde et al., 2015). Os riscos associados às variações de clima poderão aumentar a vulnerabilidade de povoamentos florestais em todo o mundo (Wu et al., 2011), podendo provocar decréscimo na produtividade do eucalipto (Baesso et al., 2010), com prejuízos ao consumo e ao comércio internacional de produtos de madeira (Perez-Garcia et al., 2002).

Apesar das incertezas em relação à magnitude das possíveis mudanças quanto à frequência de extremos climáticos, é certo que práticas silviculturais poderão ser ajustadas a fim de aumentar a resiliência dos plantios, conforme descrito adiante.

Convivência com o estresse hídrico

O levantamento de informações referentes à disponibilidade hídrica em povoamentos florestais vem atraindo atenção considerável de diversas equipes de pesquisa nas últimas décadas (Wrege et al., 2009, 2011; Souza et al., 2014), em função de prejuízos na produção por secas e estiagens, e devido à preocupação com o estabelecimento de conflitos relacionados à partição da água consumida pelos diferentes setores da sociedade (Lima; Zakia, 2006). A expansão da eucaliptocultura no Brasil para regiões com menor disponibilidade de água, como é o caso do Cerrado (Souza et al., 2014) e da Caatinga (Wrege et al., 2011), ou com maior disponibilidade, como é o caso da região Norte, traz desafios novos quanto ao funcionamento fisiológico das plantas sob tais estresses e diferentes condições de manejo.

A maioria dos plantios comerciais de eucalipto está estabelecida em regiões com déficit hídrico (Figuras 6 e 7) e, ou de nutrientes em diferentes graus. Solos com maior profundidade efetiva ou clones com raízes mais profundas tendem a ser mais produtivos (Stape et al., 2002), sendo a seleção de genótipos tolerantes/resistentes à seca (Paludzyszyn Filho et al., 2013), um procedimento imprescindível às regiões com estiagens severas.

Estratégias que favorecem os povoamentos florestais em seus processos vinculados ao ciclo da água no sistema podem ser incluídas no planejamento das atividades silviculturais, como a seleção de áreas, de acordo com zoneamentos climáticos estabelecidos na região de produção, a subsolagem (Stape et al., 2002), a definição de épocas mais favoráveis para o plantio, a adoção de práticas conservacionistas tais como o menor revolvimento do solo e a manutenção da biomassa residual sobre o piso florestal, que visam promover a manutenção de boas condições físicas do solo, a redução de perdas por evaporação, a manutenção de processos de transferência de nutrientes à planta como fluxo de massa e de difusão e o desenvolvimento do sistema radicular das árvores abundante e profundo.

Soma-se às práticas acima citadas a flexibilização do calendário de adubação, conforme o regime de chuvas da região, com a revisão das fontes de nutrientes e formas de aplicação para minimizar as perdas por lixiviação (Pinheiro et al., 2019), volatilização e emissão de GEE, bem como evitar efeito salino nas plantas, especialmente

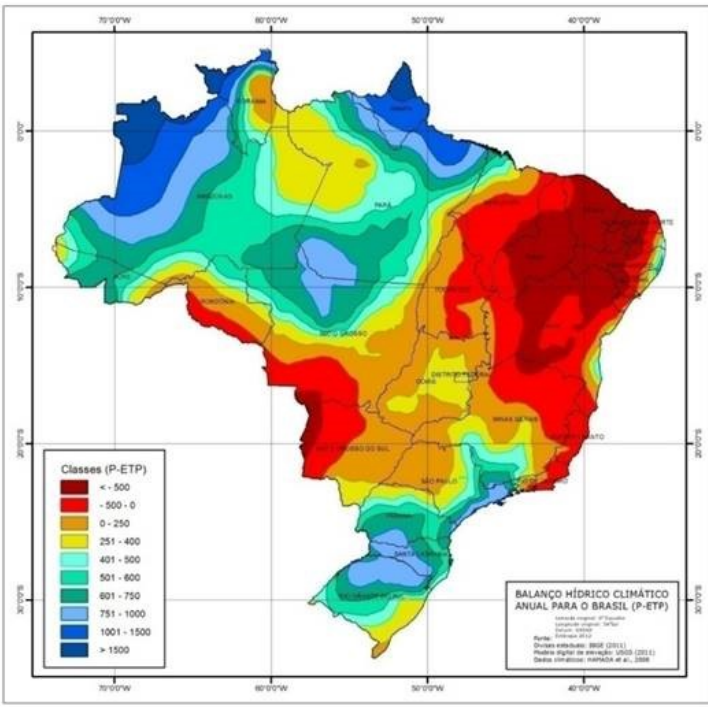


Figura 6. Balanço hídrico anual para eucalipto no Brasil (Wrege et al., 2018).

Fotos: Guilherme de Castro Andrade

Figura 7. Povoamentos de *E. cloeziana* (A) e de *E. benthamii* (B), estabelecidos em região com ocorrência de déficit hídrico (estado do Mato Grosso do Sul) e de geadas (região de Ponta Grossa, PR), respectivamente.

sob uso de fertilizantes com elevada concentração de sais. Neste sentido, o manejo do potássio em plantios florestais sob condições de estresse hídrico tem recebido atenção pelos mecanismos envolvidos no funcionamento fisiológico das plantas, como a regulação da atividade estomática das folhas, controlando as transferências de ar (CO_2 e O_2) e vapor de água (transpiração), repercutindo sobre a fotossíntese, a eficiência do uso da água (Battie-Laclau et al., 2016) e o crescimento das árvores (Melo et al., 2016; Chambi-Legoas et al., 2017). O efeito da precipitação pluvial e nutrição potássica no desenvolvimento de *E. grandis* foi estudado por diversos autores (Almeida et al., 2007, Freitas et al., 2015; Christina et al., 2015, 2018; Battie-Laclau et al., 2016; Epron et al., 2016, Chambi-Legoas et al., 2017). Epron et al. (2016), estudando o efeito da fertilização potássica em um plantio de eucalipto com dois anos de idade, em situação de estresse hídrico no estado de São Paulo, observaram que a velocidade de alocação de carbono no tronco pode dobrar em árvores com suprimento de K em relação àquelas que não receberam a suplementação. Em regiões mais áridas e com maior risco de seca prolongada, todavia, o uso de maiores doses de fertilizante potássico pode aumentar o estresse hídrico das árvores durante a seca (Chambi-Legoas et al., 2017; Christina et al., 2018) sendo, por isso, salutar o uso criterioso da fertilização potássica, ajustado às diferentes condições de solo e de clima em que estão estabelecidos os povoamentos florestais.

Convivência com a geada

A segunda maior área plantada de eucalipto no País está localizada na região Sul do Brasil, que apresenta plantios com rápido crescimento e alta produtividade principalmente em função das excelentes condições de pluviosidade dessa região. Contudo, muitos materiais genéticos de eucalipto apresentam baixa tolerância à geada, com vários sinistros relacionados a esse evento climático sendo registrados em áreas comerciais (Ferreira, 2015; Garcia; Santos, 1995, Figura 8). No estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, mesmo para plantios a partir de setembro, as mudas no campo ficam sujeitas à ocorrência de geadas tardias de primavera (Wrege et al., 2009). Embora a geada seja bem mais comum no Sul do Brasil, ocorre também na região Sudeste, em zonas de altitude, como o Sul de Minas Gerais e nas regiões serranas de São Paulo.

Nas regiões que apresentam maior risco de ocorrência de geadas, é fundamental a seleção de materiais genéticos tolerantes/resistentes, conforme a região de produção, sendo salutar, complementarmente, a seleção de áreas para plantio que dificultem o acúmulo de massas de ar frio, devendo-se evitar fundos de vales e encostas voltadas para as faces sul, sudeste e sudoeste, a adoção de estratégias que amenizam os efeitos dos ventos das frentes frias vindos do sul, a realização de ajustes na época de plantio, o manejo das brotações e a adequação da adubação (quantidade e época), quando necessário.

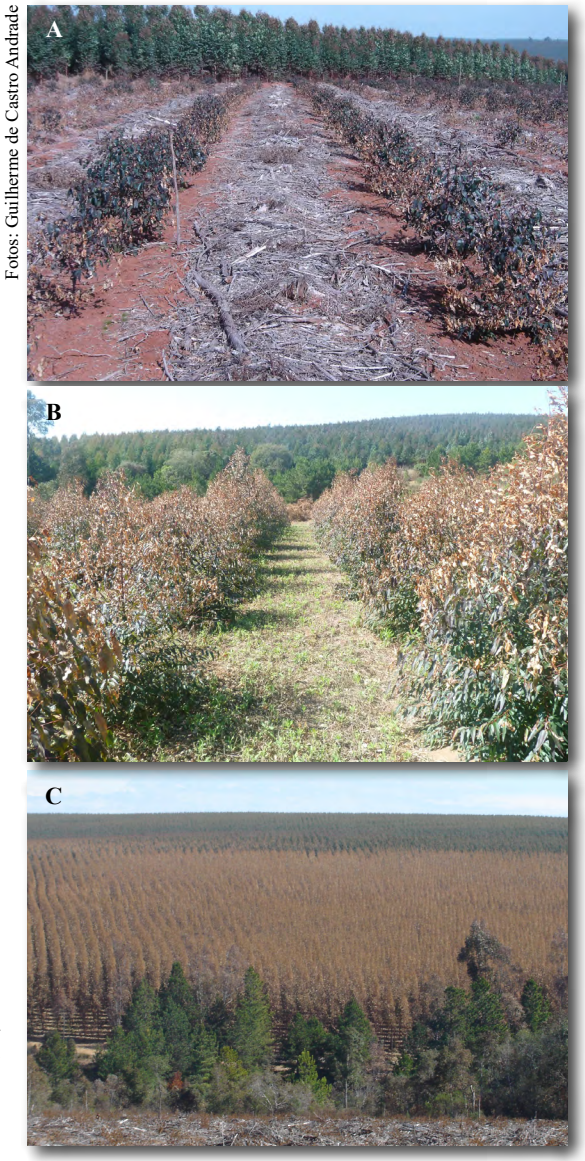


Figura 8. Efeitos da geada ocorrida no ano de 2008, em povoamentos de eucalipto, em diferentes fases de desenvolvimento, estabelecidos no estado de São Paulo.

Estudos sobre a interação entre ocorrência de geada e estado nutricional das plantas no Centro-Sul brasileiro são escassos. Os efeitos negativos da adubaçao com N e K quanto à sobrevivência e a resistência às geadas de mudas no campo foram observadas por Lisbão Júnior (1980) em três procedências australianas de *E. dunii,* no Paraná. Para diminuir os prejuízos relacionados à geada, os autores sugeriram parcelar ou adiar a adubação em plantios realizados em período próximos à época de ocorrência de geadas.

Embora não seja considerado nutriente essencial às plantas, o fornecimento de silício (Si) é apontado como uma estratégia potencial para aumento da resistência das plantas a intempéries climáticas (Santana et al., 2007) e injúrias provocadas por agentes biológicos (Queiroz et al., 2018), podendo promover o desenvolvimento de folhas mais rígidas devido à sua acumulação na epiderme (Korndörfer et al., 1999) ou, adicionalmente, atuar de forma indireta sobre a fotossíntese e a bioquímica das plantas quando submetidas a algum tipo de estresse (Savant et al., 1999; Abdalla, 2011). No Brasil, resultados obtidos por Carvalho et al. (2003), Santanta et al. (2007) e Queiroz et al. (2018) indicaram, respectivamente, que *E. grandis* e *E. camaldulensis* não são acumuladoras de Si. *E. camaldulensis,* todavia, apresenta capacidade de absorção e translocação desse nutriente (Queiroz et al., 2018). Quanto à função protetora, Santana et al. (2007) apontaram que o uso de Si em *E. grandis*, em condições de campo, pode reduzir os danos provocados pela geada, diferindo dos resultados observados por Da ros et al. (2018) para *Toona ciliata* em consórcio com *E. grandis*, em plantio no campo. Em condições de viveiro, Bognola et al. (2011) recomendaram cautela no uso de silicatos de Ca em substratos preparados para uso em mudas de eucalipto, principalmente quando possuírem uma composição básica equilibrada em termos de nutrientes e pH, pelos riscos relacionados a desequilíbrios na razão entre nutrientes disponíveis às plantas com a adição de Ca no substrato, e o estabelecimento de relações antagônicas entre cátions no processo de absorção pelas raízes.

Considerações finais

Importantes avanços no melhoramento genético e no manejo silvicultural do eucalipto possibilitaram triplicar a produtividade média dos povoamentos florestais estabelecidos no Brasil, nas últimas décadas. Adequações tecnológicas, como a adoção de novos implementos e ferramentas computacionais associadas ao conceito de silvicultura de precisão, bem como a busca por insumos alternativos como fosfatos naturais, resíduos orgânicos industriais e agrícolas, têm favorecido o estabelecimento de práticas e processos silviculturais conservacionistas. As estratégias voltadas à manutenção da resiliência e sustentabilidade dos sistemas produtivos têm possibilitado aos setores consumidores de madeira maior alinhamento às agendas nacionais e internacionais voltadas à integração entre produção e aos princípios do desenvolvimento sustentável, conforme preconizado pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU Brasil, 2019). No presente capítulo foram elencados diversos desafios da silvicultura nacional e que, embora sejam agentes potencializadores de vulnerabilidades ao sistema de produção, podem também ser abordados como oportunidades ao avanço científico e tecnológico do setor, em um contexto social, econômico e ambiental, cada dia mais complexo.

Junto à adoção de novos materiais genéticos adaptados às restrições de clima e solos, é essencial o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao uso mais eficiente dos fertilizantes, a adoção de novos insumo e práticas voltadas a minimizar perdas e impactos ambientais, bem como a adaptação de tecnologias pré-existentes em áreas de plantio emergentes, com novos arranjos tecnológicos e sociais, voltados ao atendimento de novos mercados consumidores de matéria-prima.

Na pesquisa, o estabelecimento e a manutenção de redes de ensaios multidisciplinares, o monitoramento de longo prazo de áreas experimentais e o estabelecimento de bases de dados com parâmetros de produção, nutricionais, climáticos e indicadores de transferência de carbono e nutrientes entre compartimentos (solo–planta–atmosfera) possibilitarão o desenvolvimento e o aprimoramento de modelos preditivos de produção e dos impactos dos sistemas florestais no ambiente. Os resultados dessas ações irão também auxiliar o setor na construção e na implantação de um desenvolvimento tecnológico resiliente, voltado a consolidar uma economia de baixa emissão de carbono.

Referências

ABDALLA, M. M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v. 2, p. 207-220, 2011.

AL-KAISI, M. M.; DOUELLE, A.; KWAW-MENSAH, D. Soil microaggregate and macroaggregate decay over time and soil carbon change as influence by different tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 69, n. 6, p. 574-580, 2014. DOI: https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.574.

ALMEIDA, C. A.; SOARES, J. V.; LANSBERG, J. J.; REZENDE, G. D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p. 10–21, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.009.

ANDRADE, G. C.; BOGNOLA, I. A.; BELLOTE, A. F. J.; FRANCISCON, L.; WATERLOO, M. J.; BRUIJNZEEL, L. A. Site evaluation and productivity of a 3-year old stand of *Eucalyptus urograndis* in São Paulo, Brazil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, p. 331-346, 2011. DOI: https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.331.

ANDRADE, G. C.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; BELLOTE, A. F. J.; MORO, L. Contribuicion del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para el *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, v. 16, n. 1, p. 47-51, 1995.

ATAÍDE, G. M.; CASTRO, R. V. O.; CORREIA, A. C. G.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; ROSADO, A. M. Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 523-536, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509818472.

AUER, C. G.; BETTIOL, W. Efeito da serapilheira de *Eucalyptus grandis* no crescimento micelial de *Pisolithus tinctorius* em meio de cultura. **IPEF**, n. 32, p. 49-52, 1986.

BACHEGA, L. R.; BOUILLET, J.-P.; PICCOLO, M. C.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUVET, J.-M.; NOUVELLON, Y.; GONÇALVES, J. L. M.; ROBIN, A.; LACLAU, J.-P. Decomposition of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* leaves and fine roots in tropical conditions did not meet the Home Field Advantage hypothesis. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p.33-43, 2016. p. 33-43, 2016. DOI: https://doi. org/10.1016/j.foreco.2015.09.026.

BAESSO, R.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/198050981856.

BALIEIRO, F. C.; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, M. G.; FARIA, S. M.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Biological nitrogen fixation and nutrient release from litter of the guachapele leguminous tree under pure and mixed plantation with eucalyptus. **Cerne**, v. 14, p. 185-193, 2008.

BALIEIRO, F. C.; CESÁRIO, F. V.; SANTOS, F. M.; CHAER, G. M. Litter decomposition and soil carbon stocks in mixed plantations of Eucalyptus and nitrogen fixing trees. In: CARDOSO, E.; GONÇALVES, J. L. M.; BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A. (ed.). **Mixed plantations of eucalyptus and leguminous trees**: soil, microbiology and ecosystem services. New York: Springer, 2020a.

BALIEIRO, F. C.; MORAES, L. F. D.; MOURA, C. J. R.; SANTOS, F. M.; PRUDÊNCIO, A. Ecosystem services in planted eucalyptus forest and mixed and multifunctional planted forests. In: CARDOSO, E.; GONÇALVES, J. L. M.; BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A. (ed.). **Mixed plantations of eucalyptus and leguminous trees**: soil, microbiology and ecosystem services. New York: Springer, 2020b.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; PEREIRA, M. G.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M.; ALVES, B. J. R. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39. p. 597-601, 2004.

BALIEIRO, F. C.; TONINI, H.; LIMA, R. A. Produção científica brasileira (2007-2016) sobre *Acacia mangium* Willd.: estado da arte e reflexões. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 35, p. 37-52, 2018.

BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R.; ABREU, M. F. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, v. 63, n. 2, p. 253-263, 2004.

BATTIE-LACLAU, P.; DELGADO-ROJAS, J. S.; CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; DE CASSIA PICCOLO, M.; MOREIRA, M. Z.; GONÇALVES, J. L. G.; ROUPSARD, O.; LACLAU, J. -P. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production withoaliut affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 364, p. 77-89, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.004.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and Recommendation Integrated Systems (DRIS) a general scheme for experimentation and calibration based on principles from research in plant nutrition**. Pietermaritzburg: University of Natal, South Africa, 1973. 132 p. (Soil science bulletin, I)

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 31-41, 2008a. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/315460.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D.; GAVA, J. L.; MENEGOL, O. Nutrient export by clear cutting *Eucalyptus grandis* of different ages on two sites in Brazil. In: KOBAYASHI, S.; TURNBULL, J. W.; TOMA, T.; MORI, T.; MAJUID, N. M .N. A. (ed.). **Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems**. Jakarta: SMK Grafika Desa Putera, 2001. p. 173-177.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. Nutrição, adubação e calagem para *Eucalyptus*. In: FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da. (ed.). **Formação de povoamentos florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008b. p. 55-65. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/302664.

BELLOTE, A. F. J.; NEVES, E. J. M. **Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 6 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 54). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/306311.

BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 1. Macronutrientes. **IPEF**, v. 20, p. 1-23, 1980.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (org.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-133.

BENDER, S. F.; CONEN, F.; Van der HEIJIDEN, M. G. A. Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N_2O production in experimental grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 80, p. 283-292, 2015.

BERNHARD-REVERSAT, F. Nitrogen cycling in tree plantations grown on a poor sandy savanna soil in Congo. **Applied Soil Ecology**, v. 4, p. 161–172, 1996.

BERTOLLA, A. **Eucalipto-100 anos de Brasil- "Falem mal, mas continuem falando de mim!"**. [S.l.: s.n.], 2013. 89 p. Disponível em: http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20 anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf. Acesso em: 16 ago. 2019

BEVERLY, R. B. Prescient diagnostic analysis shows sufficiency range approach superior to DRIS for Citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysus**, v. 23, p. 15-18, 1991.

BINI, D.; SANTOS, C. A.; BOUILLET, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; CARDOSO, E. J. B. N. *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in monoculture and intercropped plantations: evolution of soil and litter microbial and chemical attributes during early stages of plant development. **Applied Soil Ecology**, v. 63, p. 57–66, 2013.

BINI, D.; SANTOS, C. A.; SILVA, M. C. P.; BONFIM, J. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Intercropping *Acacia mangium* stimulates AMF colonization and soil phosphatase activity in *Eucalyptus grandis*. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 2, p. 102-110, 2018. DOI: https://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0337.

BINKLEY, D.; DUNKIN, K. A.; DEBELL, D. S.; RYAN, M. G. Production and nutrient cycling in mixed plantations of *Eucalyptus* and *Albizia* in Hawaii. **Forest Science**, v. 38, n. 2, p. 393-408, 1992.

BOGNOLA, I. A.; CLASEN, L. A.; FRANCISCON, L.; GAVA, J. L.; DEDECEK, R. A.; SILVA, F. M. Aplicação de silicatos de cálcio e de potássio e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 83-92, 2011. DOI: https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.83.

BOOTH, T. H. Eucalypt plantations and climate change. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 28-34, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.004.

BOUILLET, J. P.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; VOIGTLAENDER, M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; HAKAMADA, R.; MARESCHAL, L.; MABIALA, A.; TARDY, F.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; EPRON, D.; NOUVELLON, Y. *Eucalyptus* and *Acacia* tree growth over entire rotation in single- and mixed-species plantations across five sites in Brazil and Congo. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 89-101, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.019.

BOUILLET, J. P.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; MOREIRA, M. Z.; TRIVELIN, P. C. O.; JOURDAN, C.; SILVA, E. V.; PICCOLO, M. C.; TSAI, S. M.; GALIANA, A. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: 2: nitrogen accumulation in the stands and biological N_2 fixation. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n.12, p. 3918-3930, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.050.

BRAZ, R. L.; DA SILVA OLIVEIRA, J. T.; ROSADO, A. M.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOIOLA, P. L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Revista Ciência da Madeira**, v. 5, n. 2, p. 127-137, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.15210/cmad.v5i2.4790.

BROCKWELL, J.; SEARLE, S. D.; JEAVONS, A. L.; WAAYERS, M. Nitrogen fixation in Acacias: an untapped resource for sustainable plantations, farm, forestry and land reclamation**. ACIAR Monograph**, n. 115, 2005, 132 p.

CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (org.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 187-235.

CARVALHO, M. P.; AMAZONAS, M. A. L. A. Diversidade e distribuição sazonal da produtividade de corpos frutíferos de fungos ectomicorrízicos associados a plantações de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. da Embrapa Florestas. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 1., 2002, Colombo. **Anais**... Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; RESENDE, Á. V. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em latossolo e cambissolo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 3, p. 491-500, 2003. DOI: https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542003000300001.

CAVICHIOLLO, S. R.; DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Preparo do solo e o estado nutricional da rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Scientia Forestalis**, v. 66, p. 120-127, 2004. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/292185/1/preparodosoloeoestadonutricionaldarebrota.pdf.

CAVICHIOLO, S. R.; DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Avaliação do efeito do sistema de preparo em solos de diferentes texturas, na sua resistência mecânica e na produtividade da rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 47, p. 83-98, 2003. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/302236/1/pag8398.pdf.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

CHAMBI-LEGOAS, R.; CHAIX, G.; TOMAZELLO FILHO, M. *Eucalyptus grandis* trees growth: effects of nutrition and water availability and interactions with the environment in a prolonged drought period. In: ANIVERSARY CONGRESS, 125. **Abstracts** [...]. Freiburg: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA), p. 350, 2017.

CHAPIN III, F. S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, n. 1, p. 233-260, 1980.

CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; BATTIE-LACLAU, P.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; JOURDAN, C.; GONÇALVES, J. L. M.; LACLAU, J.-P. Measured and modeled interactive effects of potassium deficiency and water deficit on gross primary productivity and light-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Global Change Biology**, v. 21, n. 5, p. 2022–2039, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.12817.

CHRISTINA, M.; LE MAIRE, G.; NOUVELLON, Y.; VEZY, R.; BORDON, B.; BATTIE-LACLAU, P.; GONCALVES, J. L. M.; DELGADO-ROJAS, J. S.; BOUILLET, J.-P.; LACLAU, J.-P. Simulating the effects of different potassium and water supply regimes on soil water content and water table depth over a rotation of a tropical *Eucalyptus grandis* plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 148, p. 4–14, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.048.

COOK, R.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. *Eucalyptus* plantation effects on soil carbon after 20years and three rotations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 92-98, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.035.

CORBEELS, M.; MCMURTRIE, R. E.; PEPPER, D. A.; MENDHAM, D. S.; GROVET, T. S.; O'CONNELL, A. M. Long-term changes in productivity of eucalypt plantations under different harvest residue and nitrogen management practices: a modelling analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 217, p.1-18, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.057.

DAI, J.; HU, J.; ZHU, A.; BAI, J.; WANG, J.; LIN, X. No tillage enhances arbuscular mycorrhizal fungal population, glomalin-related soil protein content, and organic carbon accumulation in soil macroaggregates. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 5, p. 1055-1062, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s11368-015-1091-9.

DA ROS, C. O.; PERRANDO, E. R.; PAULA, G. M.; SOMAVILLA, L.; PREDIGE, D. M. A. P.; ENGEL, K. SILVA, R. F. da. Resistência à geada e crescimento inicial de *Toona ciliata* em cultivos consorciados com *Eucalyptus grandis* em diferentes adubações. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 796-796, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509832092.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J.; MENEGOL, O. Influence of residue management and soil tillage on second rotation *Eucalyptus* growth. **Scientia Forestalis**, v. 74, p. 9-17, 2007. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/312307/1/Influenceofresiduemanagementandsoil.pdf.

EISSENSTAT, D. M.; WELLS, C. E.; YANAI, R. D.; WHITBECK, J. L. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. **The New Phytologist**, v. 147, n. 1, p. 33-42, 2000.

ELWALI, A. M. O.; GASCHO, J. G. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guide for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 466-470, 1984.

EPRON, D.; CABRAL, O. M. R.; LACLAU, J. P.; DANNOURA, M.; PACKER, A. P.; PLAIN, C.; BATTIE-LACLAU, P.; MOREIRA, M. Z.; TRIVELIN, P. C. O.; BOUILLET, J. P.; GÉRANT, D.; NOUVELLON, Y. In situ CO pulse labelling of field-grown eucalypt trees revealed the effects of potassium nutrition and throughfall exclusion on phloem transport of photosynthetic carbon. **Tree Physiology**, v. 36, p. 6-21, 2016. DOI: https://doi.org/10.1093/treephys/tpv090.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; MARESCHAL, L.; MOREIRA, R. M. e; KOUTIKA, L.-S.; GENESTE, B.; DELGADO-ROJAS, J. S.; LACLAU, J.-P.; SOLA, G.; GONÇALVES, J. L. M.; BOUILLET, J.-P. Partitioning of net primary production in *Eucalyptus* and *Acacia* stands and in mixed-species plantations: two case-studies in contrasting tropical environments. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 102-111, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.034.

FARIA, A. B. C.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. A.; ÂNGELO, A. C. Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2017. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509826444.

FARIA, G. E. de; BARROS, N. F. de; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. D. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/19805098448.

FARIA, S. M.; BALIEIRO, F. C.; PAULA, R. R.; SANTOS, F. M.; ZILLI, J. E. Biological Nitrogen Fixation (BNF) in Mixed Forest Plantations. In: CARDOSO, E.; GONÇALVES, J. L. M.; BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A. (ed.). **Mixed plantations of eucalyptus and leguminous trees**: soil, microbiology and ecosystem services. New York: Springer, 2020.

FERREIRA, C. A. Nutrição mineral de florestas plantadas: o estado atual e as tendências da pesquisa e da pratica. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Floresta para o desenvolvimento**: política, ambiente, tecnologia e mercado: anais. São Paulo: SBS; [Sl]: SBEF, 1993. v. 3, p. 157-162. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/299575/1/CFPNutricaoMineral1.pdf.

FERREIRA, M. A aventura dos Eucaliptos. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: Ed da UFSM, 2015. p. 13–48.

FIALHO, R.; ZINN, Y. L. Changes in soil carbon under *Eucalyptus* plantations in Brazil: a comparative analysis. **Land Degradation and Development**, v. 25, n. 5, p. 428-437, 2014. DOI: https://doi.org/10.1002/ldr.2158.

FORRESTER, D. I.; PARES, A.; HARA, C. O.; KHANNA, P. K.; BAUHUS, J. Soil organic carbon is increased in mixed-species plantations of *Eucalyptus* and nitrogen-fixing *Acacia*. **Ecosystems**, v. 16, p. 123–132, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s10021-012-9600-9.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L. Nutrient cycling in a mixed species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 2942-2950, 2005.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L.; VANCLAY, J. K. Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixing trees: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 2-3, p. 211-230, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.012.

FRANCO, A. A.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: um modelo tecnológico. In: ESTEVES, F. (ed.). **Oecologica brasiliensis**: estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas. Rio de Janeiro: [s.n.], 1995. p. 459-467.

FREITAS, P. de C. e.; SETTE JUNIOR, C. R.; CASTRO, V. R.; CHAIX, G.; LACLAU, J. P.; TOMAZELLO FILHO, M. Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 405-416, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000200020.

FROSI, G.; BARROS, V. A.; SANTOS, M.; RAMOS, D. G.; MAIA, L. C.; SANTOS, M. G. Symbiosis with AMF and leaf Pi supply increases water deficit tolerance of woody species from seasonal dry tropical forest. **Journal of Plant Physiology**, v. 207, p. 84-93, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.11.002.

GANGE, A. C.; GANE, D. R.; CHEN, Y.; GONG, M. Dual colonization of *Eucalyptus urophylla* ST Blake by arbuscular and ectomycorrhizal fungi affects levels of insect herbivore attack. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 7, n. 3, p. 253-263, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1461-9555.2005.00268.x.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo em plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p.705-712, 2003.

GARCIA, C. H.; SANTOS, P. E. T. Danos ocasionados pelas geadas no estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v. 2, p. 23-24, 1995.

GARTNER, T. B.; CARDON, Z. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. **Oikos**, v. 104, n. 2, p. 230-246, 2004.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 47-129.

GONÇALVES, J. L. M. Eucalipto. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, L. I.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2014. p. 309-369. Volume 3: Culturas.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1–57.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J.-P. D.; LACLAU, J.-P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 6–27, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.030.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests**, v. 1, p. 1-15, 2017. DOI: https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1255415.

GPTNFF. Grupo Permanente de Trabalho em Nutrição e Fertilização Florestal. **Pesquisa em nutrição e fertilização florestal**: diagnóstico e prioridades. Curitiba: Embrapa-Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul, 1983. 12 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 13). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/291032/1/doc13.pdf.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 109-118, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100012.

HARRIS-VALLE, C.; ESQUEDA, M.; VALENZUELA-SOTO, E. M.; CASTELLANOS, A. E. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 32, n. 4, p. 265-271, 2009.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017 = Report 2017**. Brasília, DF, 2017. 77 p. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 27 jun. 2019.

JONES, C. A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, n. 8, p. 785-794, 1981. DOI: https://doi.org/10.1080/00103628109367194.

KAYE, J. P.; RESH, S. C.; KAYE, M. W.; CHIMNER, R. A. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of *Eucalyptus* and *Albizia* trees. **Ecology**, v. 81, n. 12, p. 3267-3273, 2000. DOI: https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[3267:NACDIA]2.0.CO;2.

KOHLER, J.; ROLDÁN, A.; CAMPOY, M.; CARAVACA, F. Unraveling the role of hyphal networks from arbuscular mycorrhizal fungi in aggregate stabilization of semiarid soils with different textures and carbonate contents. **Plant and Soil**, v. 410, n. 1-2, p. 273-281, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-016-3001-3.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 635-629, 1999. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300017.

KOUTIKA, L.-S.; EPRON, D.; BOUILLET, J.-P.; MARESCHAL, L. Changes in N and C concentrations, soil acidity and P availability in tropical mixed acacia and eucalypt plantations on a nutrient-poor sandy soil. **Plant and Soil**, v. 379, p. 205-216, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-014-2047-3.

KOUTIKA, L.-S.; MARESCHAL, L. Acacia and eucalypt change P, N and C concentrations in POM of Arenosols in the Congolese coastal plains. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 37-43, 2017.

KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A.; MAEDA, S.; SANTOS, F. C. **Diagnose do estado nutricional de soja e algodoeiro, pelos métodos das faixas de suficiência e DRIS, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular técnica, 29).

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101 f. Tese (*Doctor Scientiae*) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LACLAU, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Perspectives for the management of eucalypt plantations under biotic and abiotic stresses. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 1-5, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.007.

LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J. L. M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A. V.; THONGOM'BOU, A.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J.-P.; PICCOLO, M. C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1771–1785, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.010.

LANTMANN, A. F.; CASTRO, C.; PEREIRA, J. E. Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) para a cultura do girassol (04.2001.339-02). In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; SARAIVA, O. F. (org.). **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja - 2002**: girassol e trigo. Londrina: Embrapa Soja, 2003. p. 39-44. (Embrapa Soja. Documentos, 218).

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 235, n. 1-3, p. 219-231, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.331.

LIMA, P. L.; ZAKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água**: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RIMA. 2006. 218 p.

LISBÃO JUNIOR, L. O efeito da geada e o comportamento inicial de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em ensaio conjugado de mini-espaçamentos e adubação. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 1, p. 28-49, 1980.

MAEDA, S. **Interpretação do estado nutricional de soja pelo DRIS no Mato Grosso do Sul**. 2002. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; KURIHARA, C. H.; FRANCISCON, L.; OLIVEIRA, E. B. Obtenção de valores de referência do DRIS para *Pinus taeda*. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (ed.). **Agricultura de precisão**: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 232-234.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 89-102, 1994.

MARRON, N.; EPRON, D. Are mixed-tree plantations including a nitrogen-fixing species more productive than monocultures? **Forest Ecology and Management**, v. 441, p. 242-252, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.052.

MELLO, A. H. de; ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J.; SOUZA, E. L.; OLIVEIRA, V. L. Fungos arbusculares e ectomicorrízicos em áreas de eucalipto e de campo nativo em solo arenoso. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, 293-301, 2006. DOI: https://doi.org/10.5902/198050981909.

MELLO, A. H. de; ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J.; SOUZA, E. L.; SCHIRMER, G. K.; MACHADO, R. G.; LUPATINI, M.; MORO JUNIO, C. Estabelecimento a campo de mudas de *Eucalyptus grandis* micorrizadas com *Pisolithus microcarpus* (UFSC Pt 116) em solo arenoso. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 149-155, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/19805098406.

MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; WENZEL, A. V. A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; LEMOS, C. C. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of clonal Eucalypt plantations to N, P and K fertilizer application in different edaphoclimatic conditions. **Forests**, p. 1-15, 2016. DOI: https://doi.org/10.3390/f7010002.

MESQUITA, M. A. M.; SILVEIRA, P. M.; LEANDRO, W. M.; FLORES, R. A.; MARANHÃO, D. D. C. DRIS standards for nutritional evaluation of *Phaseolus vulgaris* in Cerrado, Goiás State, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 2, p. 274-280, 2018.

MITCHELL, S. J. Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis. **Forestry**, v. 86, p. 147-157, 2013. DOI: https://doi.org/10.1093/forestry/cps058.

MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 84 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAIS, E. D.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; BRANDI, R. M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 3, p. 353-362, 1990.

MOREIRA, F. M. S.; MOREIRA, J. O. S. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. In: MOREIRA, F. M. S.; MOREIRA, J. O. S. (ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed da UFLA, 2006. p. 449-542.

NACHTIGALL, G. R.; DECHEN, A. R. DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 3, p. 282-287, 2007.

NOUVELLON, Y.; LACLAU, J.-P.; EPRON, D.; LE MAIRE, G.; BONNEFOND, J.-M.; GONÇALVES, J. L. M.; BOUILLET, J.-P. Production and carbon allocation in monocultures and mixed-species plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil. **Tree Physiology**, v. 32, p. 680-695, 2012.

NOVAIS, R. F; BARROS, N. F. Sustainable agriculture and forestry production systems on acid soils: Phosphorus as a case-study. In: MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; SCHAFFERT, R. E.; FAGERIA, N. K.; ROSOLEM, C. A.; CANTARELLA, H. **Plant-soil interactions as low pH**: sustainable agriculture and forestry production. Viçosa, MG, Brazilian Soil Science Society, 1997. p. 39-51.

NOVOTNY, E. H.; RODRIGUES, A. F.; BALIEIRO, F. C.; FREITAS, T. B.; CHAER, G. M.; RACHID, C. T. C. C. Avaliação das alterações estruturais da serapilheira de florestas plantadas em decomposição por meio da espectroscopia vibracional (FTIR) aliada à análise de componentes principais (PCA). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 10., 2013. **Anais** [...]. Santo Antônio de Goiás: Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, 2013. p. 48-51.

OLIVEIRA, J. R. **Crescimento, produção e eficiência nutricional de genótipos de eucalipto em diferentes condições edafloclimáticas de Minas Gerais**. 2017. 150 f. Tese (*Doctor Scientiae*) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ONU BRASIL. Organização das Nações Unidas Brasil. **Transformando nosso mundo**: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf . Acesso em: 7 ago. 2019.

PAGANO, M. C.; SCOTTI, M. R. Arbuscular and ectomycorrhizal colonization of two Eucalyptus species in semiarid Brazil. **Mycoscience**, v. 49, n. 6, p 379-384, 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/S10267-008-0435-3

PAGANO, M. C.; BELLOTE, A. F.; SCOTTI, M. R. Aboveground nutrient components of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. grandis* in semiarid Brazil under the nature and the mycorrhizal inoculation conditions. **Journal of Forestry Research**, v. 20, n. 15-22, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s11676-009-0003-5

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. (Embrapa Florestas. Documentos). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/304430.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos. **Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 11 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 316). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/977455.

PARROTTA, J. A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, v. 124, n. 1, p. 45-77, 1999. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00049-3.

PATERSON, E.; SIM, A.; DAVIDSON, J.; DANIELL, T. J. Arbuscular mycorrhizal hyphae promote priming of native soil organic matter mineralisation. **Plant and Soil**, v. 408, n. 1-2, p. 243-254, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-016-2928-8.

PAULA, R. R.; BOUILLET, J.-P.; ÇONÇALVES, J. L. M.; TRIVELIN, P. C. O.; BALIEIRO, F. C.; NOUVELLON, Y.; OLIVEIRA, J. C.; DEUS JÚNIOR, J. C.; BORDRON, B.; LACLAU, J.-P. Nitrogen fixation rate of *Acacia mangium* Wild at mid rotation in Brazil is higher in mixed plantations with *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden than in monocultures. **Annals of Forest Science**, v. 75, p. 1-14, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s13595-018-0695-9.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná, 2017.

PEREZ-GARCIA, J.; JOYCE, L. A.; McGUIRE, D.; XIAO, X. Impacts of climate chance on the global forest sector. **Climatic Change**, v. 54, n. 4, p. 439-461, 2002. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1016124517309.

PINHEIRO, R. C.; BOUILLET, J.-P.; BORDRON, B.; ALÓ, L. L.; COSTA, V. E.; ALVARES, C. A.; LACLAU, J.-P. Distance from the trunk and depth of uptake of labelled nitrate for dominant and suppressed trees in Brazilian Eucalyptus plantations: consequences for fertilization practices. **Forest Ecology and Management**, v. 447, p. 95-104, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.011.

PINTO, S. I. do C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. D. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200021.

POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S.; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, v. 27, p. 17-30, 1984.

POGGIANI, F.; COUTO, H. D.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **Revista IPEF**, v. 25, p. 37-39, 1983.

POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G. D.; GUIMARES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; ARAÚJO, A. R. Effect of calcium silicate suplly and the nutritional efficiency of coffee cultivars. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1705-1714, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600019.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo**: 5ª aproximação. Vitória: SEEA/TNCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.

QIN, H.; CHEN, J.; WU, Q.; NIU, L.; LI, Y.; LIANG, C.; SHEN, Y.; XU, Q. Intensive management decreases soil aggregation and changes the abundance and community compositions of arbuscular mycorrhizal fungi in Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 246-255, 2017. DOI: https://doi.org/ 10.1016/j.foreco.2017.06.003.

QUEIROZ, D. L.; CAMARGO, J. M. M.; DEDECEK, R. A.; OLIVEIRA, E. B. de; ZANOL, K. M. R.; MELIDO, R. Absorção e translocação de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 632-640, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509832053.

RACHID, C. T. C. C.; BALIEIRO, F. C.; FONSECA, E. S.; PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; TIEDJE, J. M.; ROSADO, A. S. Intercropped silviculture systems, a key to achieving soil fungal community management in Eucalyptus plantations. **PLoS One**, v. 10, n. 2, p. e0118515, 2015. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118515.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; FURLANI, M. C. (ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

RAVEN, J. A.; FRANCO, A. A.; JESUS, E. L. de; JACOB-NETO J. H^+ extrusion and organic-acid synthesis in N_2-fixing symbioses involving vascular plants. **New Phytologist**, v. 114, p.369–389, 1990.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (ed). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª Aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROBIN, A.; PRADIER, C.; SANGUIN, H.; MAHE, F.; LAMBAIS, G. R; DE ARAUJO PEREIRA, A. P; GERMON, A.; CINTRA, M.; TISSEYRE, P.; PABLO, A. L.; HEUILLARD, P.; SAUDAVET, M.; BOUILLET, J. P.; ANDROTE, F. D.; PLASSARD, C.; CARDOSO, E. J. B.; LACLAU, J. P.; HINSINGER, P.; JOURDAN, C. How deep can ectomycorrhizae go? A case study down to 4 meter depth in a Brazilian Eucalyptus plantation under rainfall reduction. In: EUCALYPTUS 2018: Managing Eucalyptus plantation under global changes: abstracts book. Montpellier: CIRAD, 2018. p. 38-39.

SANTANA, D. L. Q. THOMAZ, D. T.; RADOMSKI, M. I.; DEDECEK, R. A.; LINHAR, C. A.; CAMARGO, J. M. M. Efeito da aplicação de silício na melhoria da tolerância do *Eucalyptus grandis* à ação da geada e ataque de insetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, 2007. p. 123-126. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/303398.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2723–2733, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700016.

SANTANDER, C.; AROCA, R.; RUIZ-LOZANO, J. M.; OLAVE, J.; CARTES, P.; BORIE, F.; CORNEJO, P. Arbuscular mycorrhiza effects on plant performance under osmotic stress. **Mycorrhiza**, p. 1-19, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s00572-017-0784-x.

SANTOS, F. M,; BALIEIRO, F. C.; ATAÍDE, D. H. S.; DINIZ, A. R.; CHAER, G. M. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a Brazilian sandy soil. **Forest Ecology and Management**, v. 363, p. 86–97, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.028.

SANTOS, F. M.; BALIEIRO, F. C.; FONTES, M. A.; CHAER, G. M. Understanding the enhanced litter decomposition of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, v. 423, n. 1-2, p. 141-155, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-017-3491-7.

SANTOS, F. M.; CHAER, G. M.; DINIZ, A. R.; BALIEIRO, F. C. Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 384, p. 110–121, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.041.

SANTOS, V. L.; MUCHOVEJ, R. M.; BORGES, A. C.; NEVES, J. C. L.; KASUYA, M. C. M. Vesicular-arbuscular-/ecto-mycorrhiza succession in seedlings of. *Eucalyptus* spp. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 32, n. 2, p. 81-86, 2001. DOI: https://dx.doi.org/10.1590/S1517-83822001000200002.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, n. 22, p. 1853-1903, 1999. DOI: https://doi.org/10.1080/01904169909365761.

SILVA, D. F. da; PEGORARO, R. F.; MAIA, V. M.; KONDO, M. K.; SOUZA, G. L. O. D.; MOTA, M. F. C. Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e nitrificação na cultura do abacaxi. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p. 327-335, 2017. DOI: https://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764030014.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V. V. H.; LEITE, F. P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS e CND. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 507-515, 2004.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Silvicultura**, v. 6/7, p. 9-25, 1983a. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/282259/1/hsilva2.pdf http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim06_07/hsilva2.pdf.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 6/7, p. 1-8, 1983b. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/282256.

SILVA, M. A.; COSTA, M. D.; ROCHA, R. B.; BORGES, A. C. Formação de ectomicorrizas por monocários e dicários de *Pisolithus* sp. e interações nutricionais em *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 917-929, 2007.

SOARES, M. T. S.; FROUFE, L. C. M. Estimativa de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais por meio da produção e decomposição de serapilheira. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (org.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 155-170. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024484.

SOARES, M. T. S. **Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio, e alterações da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não-degradado fertilizados com biossólido e florestados com *Eucalyptus grandis***. 2003. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

SOARES, M. T. S.; GAIAD, S.; RESENDE, A. S.; MENEZES, G. I.; FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Qualidade de mudas de espécies arbóreas procedentes do Bioma Pantanal e inoculadas com fungos micorrízicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 311-322, 2017. DOI: https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1424.

SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo, 2008. 92 p. Disponível em: http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf. Acesso em: 27 jun. 2019.

SOUZA, E. L.; ANTONIOLLI, Z. I.; MACHADO, R. G.; PAZZINI, D. E.; DAHMER, S. F.; REDIN, M.; RAMIRES, M. F. Fungos Ectomicorrízicos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden em Neossolo Quartzarênico. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 471-484, 2017.

SOUZA, I. F. de; BARROS, N. F. de; SILVA, I. R. da; RENIER, R. F.; ÁVILA SILVA, L. de; NOVAIS, R. F. de. Decomposition of eucalypt harvest residues as affected by management practices, climate and soil properties across southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, 374, 186-194, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.012.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R.; Zoneamento agroclimático para o *Eucalyptus urograndis* no Estado do Tocantins. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014, Campo Grande, MS. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2014. p. 231-239.

STAPE, J. L.; ANDRADE, S.; GOMES, A. N.; KREJCI, L. C.; RIBEIRO, J. A. Definição de método de preparo do solo para silvicultura em solos coesos no litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. Cap. 7. p. 47-129.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management,** v. 259, p. 1684–1694, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p.17–31, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.020.

TCHICHELLE, S. V.; MARESCHAL, L.; KOUTIKA, L.-S.; EPRON, D. Biomass production, nitrogen accumulation and symbiotic nitrogen fixation in a mixed-species plantation of eucalypt and acacia on a nutrient-poor tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 403, p. 103-111, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.041.

THIRKELL, T. J. CAMERON, D. D.; HODGE, A. Resolving the 'nitrogen paradox' of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 8, p. 1683-1690, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/pce.12667.

TRAJANO, M. A. B.; KASUYA, M. C. M.; TÓTOLA, M. R.; BORGES, A. C.; NOVAIS, R. F. Suprimento de fósforo e formação de micorrizas em mudas de eucalipto em sistema de raízes subdivididas. **Revista Árvore**, v. 25, n. 2, p. 193-201, 2001.

TRINDADE, A.; PEREIRA, J.; MUCHOVEJ, R.; NEVES, J. Efeito de fungos ectomicorrizicos na resposta de mudas de *Eucalyptus grandis* a enxofre no solo. **Revista Árvore**, v. 25, n. 2, p. 175-181, 2001.

VANCE, C. P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. **Plant Physiology**, v. 127, p. 390–397, 2001. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.010331.

VENTERINK, H. O. Legume have a higher root phosphatase activity than other forbs, particularly under low inorganic P and N supply. **Plant and Soil**, v. 347, p. 137-146, 2011.

VENTURIN, N.; CAMPINHOS JÚNIOR, E.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, R. P. Histórico. In: MACHADO, C.; PIRES, J.; VILAR, M.; COSTA, C.; NACIF, A. (ed.). **Eucaliptocultura no Brasil**: silvicultura, manejo e ambiência. Viçosa, MG: SIF, 2014, p.17-38.

VILAS BOAS REZENDE, L.; CAMELLO, T. C. F.; REBELO, L. P. O eucalipto resseca o solo? Mito ou verdade? **Revista Internacional de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 19-38, 2011.

VITOUSEK, P. Nutrient cycling and use efficiency. **The American Naturalist**, v. 119, p. 553–572, 1982.

VOIGTLAENDER, M.; LACLAU, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; PICCOLO, M. C.; MOREIRA, M. Z.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J.; BOUILLET, J.-P. Introducing *Acacia mangium* trees in *Eucalyptus grandis* plantations: consequences for soil organic matter stocks and nitrogen mineralization. **Plant and Soil**, v. 352, n. 1/2, p. 99-111, 2012.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 1797-1803, 1999a.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVARES V. V. H.; BARROS, N. F. de; DIAS, L. E. Uso de diferentes compartimentos da árvore nos índices DRIS e seus efeitos na avaliação da nutrição nitrogenada em eucaliptos. **Revista Árvore**, v. 23, n. 3, p. 271-278, 1999b.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.685-692, 1998a.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 661-666, 1998b.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F. Normas preliminares do sistema integrado de diagnose e recomendação para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 55, p. 145-154, 1999c.

WADT, P. G. S. Nutritional status of *Eucalyptus grandis* clones evaluated by critical level and DRIS method. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 15-20, 2004. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000100003.

WALWORTH, J. L.; SUMNER; M. E. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). In: STEWART, B. A. (ed.). **Advances in Soil Science**. New York: Springer, 1987. v. 6.

WREGE, M. S.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; HOLLER, W. A. Zoneamento agroclimático do eucalipto para a região da Bacia do Paraná 3 em escala semidetalhada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018.

WREGE, M. S.; HIGA, R.; MOURA, M. S. B. de. Modelagem da distribuição geográfica de *Eucalyptus tereticornis* na Região Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros**: Anais. Guarapari: Incaper, 2011. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/897332/1/2011MarcosWCBAMModelagem.pdf.

WREGE, M.; HIGA, R. C. V.; STEINMETZ, S.; HERTER, F.; REISSER JUNIOR, C.; RADIN, B.; MATZENAUER, R. **Critérios para o zoneamento agroclimático do eucalipto**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/747139/1/Cap5ZonEucaliptoCPACT2009Incluido.pdf.

WU, Q. S.; ZOU, Y. N. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. **Plant Soil Environment**, v. 55, n. 10, p. 436-442, 2009.

WU, Z.; DIJKSTRA, P.; KOCH, G. W.; PEÑUELAS, J.; HUNGATE, B. A. Responses of terrestrial ecosystems to temperature and precipitation change: a meta-analysis of experimental manipulation. **Global Change Biology**, v. 17, p. 927-942, 2011. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02302.

ZHU, X. C.; SONG, F. B.; LIU, S. Q.; LIU, T. D.; ZHOU, X. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. **Plant Soil Environment**, v. 58, n. 4, p. 186-191, 2012.

ZONG, K.; HUANG, J.; NARA, K.; CHEN, Y.; SHEN, Z.; LIAN, C. Inoculation of ectomycorrhizal fungi contributes to the survival of tree seedlings in a copper mine tailing. **Journal of Forest Research**, v. 20, n. 6, p. 493-500, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s10310-015-0506-1.

12

Aplicação de resíduos agropecuários, urbanos e industriais em plantios de eucalipto

Shizuo Maeda
Márcia Toffani Simão Soares
Mario Vedovato Dias

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O setor florestal no Brasil representa importante atividade econômica e social, devido ao fornecimento de matérias-primas para a geração de energia (lenha, carvão), madeira para construção civil, movelaria, produção de celulose e papel, entre outras. O ambiente florestal é ainda passível de ofertar diversos serviços ambientais à sociedade, tais como a conservação da água e do solo, a ciclagem de nutrientes (Soares; Froufe, 2015), o suporte à regulação do clima e a manutenção da biodiversidade. A atual pressão do mercado e de segmentos da sociedade por iniciativas dos setores relacionados à sinergia das agendas voltadas à conservação e ao uso sustentável das florestas (Ahrens; Oliveira, 2017) aponta para a inegável importância dos diversos processos ecológicos atuantes no ambiente silvicultural.

A área de florestas plantadas no Brasil é estimada em 7,84 milhões de hectares, dos quais 35% são destinados à produção de celulose e papel; 13% à siderurgia a carvão; 6% ao setor de painéis de madeira e pisos laminados; 9% aos investidores financeiros; 30% aos produtores independentes; 4% para produtos sólidos e 3% para outros fins (IBÁ, 2019). Do total de área plantada, 5,7 milhões de hectares são ocupadas por eucalipto e 1,6 milhões de hectares por pinus (IBÁ, 2017).

Materiais não aproveitados em processos industriais, humanos e animais, sólidos, semi-sólidos, líquidos ou gasosos, quando há possibilidade de seu aproveitamento, são qualificados como resíduos ou, como rejeitos quando, com base nos conhecimentos disponíveis, não é possível o seu aproveitamento. Pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, resíduo sólido é qualificado como "material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível" (Brasil, 2010, artigo 3º, inciso XVI). Conforme determina o artigo 9 dessa lei, "Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos". Portanto, a disposição em aterros é a última opção a ser adotada e a responsabilidade pelo destino final dos resíduos gerados, nos mais diversos setores de produção, passou a ser dos geradores (Brasil, 2010). Dessa forma, espera-se que os geradores dos resíduos passem a investir, cada vez mais, em programas de reciclagem e reaproveitamento dos resíduos.

O solo, pelas suas características químicas e físicas, é um atraente meio de depuração de resíduos. Uma vez respeitado seus limites e quando adequadamente manejados, o solo tem sido utilizado para a disposição de resíduos como fonte de

nutrientes e matéria orgânica para o cultivo de espécies agrícolas ou florestais de interesse ao ser humano. Essa última possibilidade é vantajosa por contribuir para a reposição de nutrientes retirados com a colheita e para manter ou aumentar a capacidade produtiva dos solos, além de ser uma alternativa mais segura de disposição, quando comparada à destinação em aterros sanitários ou ao uso em áreas agrícolas voltadas à produção de alimentos.

Os benefícios do uso de resíduos como fertilizantes ou condicionadores do solo dependem do atendimento de um conjunto de procedimentos técnicos e legais voltados ao seu uso racional e seguro. Seu adequado manejo nas áreas produtivas, bem como a maximização de seu potencial como insumo agrícola ou florestal, é definido com base em suas características, sua composição e em informações disponíveis da interação solo-planta-insumo, a fim de assegurar a sua eficiência para melhoria em atributos do solo e/ou no fornecimento de nutrientes às plantas, bem como avaliando a possibilidade da presença de organismos prejudiciais à saúde de seres humanos e de compostos potencialmente tóxicos ao ambiente e aos seres vivos.

O presente capítulo apresenta aspectos relacionados ao uso florestal de resíduos de origens humana, industrial e agroindustrial, suas potencialidades, limitações e desafios do setor relacionados à esta prática.

Fluxos de nutrientes e resíduos exógenos em plantios florestais

De modo geral, os plantios florestais apresentam particularidades que podem favorecer a aplicação de resíduos orgânicos exógenos no solo, quando comparados às culturas agrícolas. Nos sistemas florestais é possível o estabelecimento de práticas de manejo com reduzido contato humano com insumos, em função dos longos ciclos de crescimento das culturas florestais, da menor frequência de fertilização, espaçada em longos períodos (Poggiani et al., 2000) e devido à geração de produtos geralmente não voltados ao consumo humano ou animal (Gonçalves et al., 2000). Ainda quanto ao ambiente nutricional de povoamentos florestais, de modo geral, apresentam baixa fertilidade química, demandando, portanto, estratégias de construção da sua fertilidade com o aporte de matéria orgânica e nutrientes, especialmente para a reposição de fósforo, potássio e, em alguns casos, micronutrientes. A grande habilidade das plantas em imobilizar nutrientes e metais pesados pelo sistema radicular, abundante e bem distribuído, associado à boa capacidade de infiltração de água no solo, reduz os riscos de contaminação ambiental por escorrimento superficial (Vaz; Gonçalves, 2002).

Para exteriorizar seu potencial produtivo, espécies florestais necessitam que sua demanda nutricional seja atendida em quantidades adequadas e sincronizadas

às diferentes fases de desenvolvimento da planta. Os mecanismos envolvidos na dinâmica de carbono e nutrientes de certos resíduos orgânicos, condicionados a fatores como estabilidade do material em campo, doses e formas de uso, podem permitir o suprimento das exigências nutricionais das árvores em diferentes estádios de seu desenvolvimento, atendendo no curto prazo, às exigências imediatas ao crescimento (Henry et al., 1994), em plantas com bom arranque inicial e, no longo prazo, pela contínua liberação de nutrientes para o solo e para o sistema radicular das árvores ao longo de vários anos (Zabowski; Henry, 1994), com condições de manutenção ou aumento da produtividade dos sítios florestais. Tais mecanismos contrapõem-se aos verificados nos insumos químicos de alta solubilidade e rápida disponibilização para o sistema solo-planta, que podem resultar em indesejáveis perdas de nutrientes do sistema de produção para outros compartimentos do ambiente (ex., lençol freático e atmosfera). Nas plantações florestais, a remoção da biomassa de madeira por meio da colheita representa expressiva exportação de nutrientes do talhão florestal, uma vez que a maior parte dos mesmos se encontra na biomassa do tronco (Bellote et al., 1980), conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidades de nutrientes e porcentagem exportada pelo tronco de *Eucalyptus grandis*, com 7 anos de idade, considerando uma produção de 355,44 m^3 ha^{-1} de volume sólido com casca[(1)].

Nutriente	Quantidade de nutrientes		
	(g planta^{-1})	(kg ha^{-1})	(% do total)
N	260,14	390,21	72,00
P	20,19	31,22	86,90
K	177,43	264,15	81,20
Ca	386,92	580,38	86,40
Mg	85,47	128,21	92,90
S	106,11	159,17	81,20

[(1)] Bellote et al. (1980).

Além da retirada de nutrientes pela biomassa colhida, algumas condições estabelecidas nos intervalos entre a colheita e o fechamento do dossel do plantio de renovação podem resultar em perdas de matéria orgânica, tanto da biomassa residual sobre o solo como do próprio solo, tais como pelo estabelecimento de processos erosivos durante a movimentação de máquinas no preparo do solo e pela eventual queima de biomassa e emissão atmosférica de compostos voláteis. Em função do curto ciclo de rotação, da baixa fertilidade dos solos, das exportações de nutrientes pela retirada de biomassa e demais processos de perdas, a sustentabilidade dos talhões pode ser severamente comprometida caso medidas corretivas não sejam adotadas (Cook et al., 2016). Nesse

contexto, a aplicação de resíduos em plantios florestais como fertilizante ou condicionador do solo, pode atender tanto as demandas relativas à sustentabilidade dos sítios florestais, como equacionar passivos ambientais e econômicos relacionados à destinação dos mesmos, possibilitando sua disposição mais segura ao ecossistema e mais vantajosa economicamente.

Aspectos legais

O aproveitamento de resíduos como condicionador do solo e como fonte de nutrientes para as plantas é uma alternativa de disposição que deve atender a requisitos agronômicos, ambientais, sanitários e econômicos. A opção por essa alternativa de utilização de resíduos torna o seu gerador responsável junto ao produtor rural e à sociedade, pela oferta de produtos que atendam aos requisitos mencionados. Dessa forma, a disposição no solo deve ser entendida como uma solução sustentável que retorna parte dos nutrientes exportados pela colheita ao sistema de produção e atende as normas legais vigentes no país.

Para a avaliação da viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso de qualquer resíduo como insumo florestal, algumas etapas devem ser seguidas, as quais envolvem: classificação do material a ser avaliado; caracterização agronômica do material como fonte de nutrientes; avaliação de sua eficiência como fonte de nutrientes em condições controladas; avaliação de sua eficiência em condições de plantio, e análise de viabilidade econômica de seu uso como insumo.

A classificação é primordial para embasar a tomada de decisão em nível técnico, econômico, ambiental e legal quanto à destinação final do resíduo. Ela envolve a coleta, o manuseio, o tratamento, o acondicionamento, o transporte, a reciclagem e o aproveitamento agrícola/florestal. A classificação dos resíduos no Brasil é normatizada pela NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2004), que possibilita separar os resíduos conforme os seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, indicando formas de manuseio e gestão a cada tipo de resíduo e classificando-os em:

- Classe I - resíduos perigosos: devido à sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- Classe II A - resíduos não perigosos e não inertes: devido à sua biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Classe II B - resíduos não perigosos e inertes: quando nenhum de seus constituintes é solubilizado em concentração superior aos padrões de potabilidade da água, com exceção aos aspectos como cor, turbidez, dureza e sabor.

A legislação brasileira veda o uso agrícola de resíduos perigosos, devendo os mesmos ter outra forma de disposição, como em aterros, por exemplo, a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006 (Conama, 2006a). Por outro lado, os resíduos classe II B, em sua maioria, não apresentam potencial para uso como insumo florestal.

Para uso como insumo florestal, os resíduos classificados como Classe II A deverão também ser caracterizados quanto ao potencial agronômico, à presença de substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, aos indicadores bacteriológicos, à presença de agentes patogênicos e à estabilidade (Conama, 2006a).

Um projeto agronômico voltado ao uso de resíduos em áreas florestais, além de ser uma eficiente ferramenta de gestão e controle ambiental e silvicultural, geralmente é pré-requisito para requerimento de autorização ambiental das atividades industriais nos órgãos competentes. A sua elaboração requer o atendimento da legislação voltada às atividades silviculturais, como, por exemplo, do Novo Código Florestal Brasileiro, Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2012), a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Brasil, 1981), bem como o atendimento às leis específicas, de todos os âmbitos, voltadas ao uso e reciclagem de resíduos em solos agrícolas e florestais. Importante salientar que, embora não haja, no âmbito nacional, legislação específica voltada à aplicação de resíduos da indústria de celulose e papel em solos sob produção agrícola ou florestal, o projeto agronômico pode ser orientado por critérios e procedimentos definidos para resíduos afins. As Resoluções Conama nº 375/2006 e nº 380/2006 (Conama, 2006a, 2006b) definem critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e produtos derivados (produtos destinados a uso agrícola que contenham lodo de esgoto em sua composição). Estas resoluções definem alguns parâmetros do resíduo da área agrícola, tais como: a) a concentração máxima permitida de substâncias inorgânicas presentes no resíduo; b) a carga acumulada teórica permitida dessas substâncias no solo, como resultado da aplicação do resíduo; c) as restrições locacionais e de aptidão do solo das áreas de aplicação; e d) o monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado. Na indisponibilidade de legislação específica para resíduos sólidos industriais, a Resolução Conama nº 375/2006 (Conama, 2006a) é utilizada como referência para a gestão do resíduo em relação ao uso como insumo agroflorestal.

Agências ambientais de alguns estados do Brasil também disponibilizam normas voltadas ao uso agrícola de resíduos urbanos e/ou industriais e que podem ser orientadores para a elaboração de um plano de uso, como as normas técnicas P4.230 (Cetesb, 1999a); P4.233 (Cetesb, 1999b); P4.002 (Cetesb, 2010).

Os resíduos que apresentam benefícios agronômicos podem ser registrados ou ter seu uso autorizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), responsável pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Segundo o Decreto

nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (Brasil, 2004), alterado pelo Decreto nº 8.059, de 26 de julho de 2013 (Brasil, 2013), para que um resíduo possa ser utilizado como fertilizante, corretivo ou condicionador de solo, o mesmo precisa proporcionar algum benefício ao sistema solo/planta (artigo 15), sem prejudicar o meio ambiente – solo, água, fauna e flora e o ser humano (artigo 17), bem como ter o registro ou autorização de uso e aplicação no solo emitido pelo Mapa (artigo 17, do Decreto Decreto nº 4.945/2004, Brasil, 2004). Para tanto, parâmetros de qualidade relativos à presença de contaminantes e a garantia de benefícios agronômicos devem ser comprovados ao órgão federal responsável, por meio de laudos analíticos e resultados de pesquisas realizadas por instituições públicas ou credenciadas. Os Decretos, nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014 (Brasil, 2014) e nº 4.954/2004 (Brasil, 2004), que aprovam o Regulamento da Lei nº 6.894/1980, apresentam instruções para registro ou autorização de uso destes produtos. Adicionalmente, a Instrução Normativa SDA nº 25, de 23 de julho de 2009 (Brasil, 2009) apresenta normas sobre as especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura (Brasil, 2009). Na Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006 (Brasil, 2006) também são apresentadas as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes para serem produzidos, importados ou comercializados.

No estado do Paraná, para o uso agronômico de dejetos suínos (DS), as áreas para aplicação poderão ser classificadas de acordo com o sistema baseado no risco ambiental das terras, apresentado na Instrução Normativa IAP/Diram 105.006 (IAP, 2009). Outras recomendações técnicas são apresentadas adiante, no presente capítulo.

Caracterizaçao e uso florestal

Biossólidos (lodo de esgoto)

O tratamento de efluentes humanos, residenciais ou comerciais, em estações próprias, resulta em materiais residuais conhecidos como lodo de esgoto ou biossólido (BS), de disposição final problemática no processo operacional das estações de tratamento, e que pode representar elevado custo operacional. A sua composição química é variável, sendo influenciada pela sua origem, pelo processo de tratamento do efluente, além da sazonalidade do material tratado na estação de tratamento de esgoto (Hue, 1995; Bettiol; Camargo, 2006; Berton; Nogueira, 2010; Ferraz et al., 2016). Dados apresentados por Bettiol e Camargo (2006) mostram grandes variações nos teores de

carbono, macro e micronutrientes e elementos potencialmente tóxicos presentes no material, em função da composição inicial do esgoto tratado e do processo tecnológico adotado para o tratamento. Os autores estimaram concentrações, em g kg^{-1}, entre 201 a 382 para C; 21,2 a 68,2 para N total; 0,95 a 26,9 para P; 0,34 a 1,5 para K; 6,6 a 47,8 para Ca; e 1,3 a 4,5 para Mg. Para evitar a contaminação do solo por elementos tóxicos, regulamentos como as resoluções 375 e 380/2006 (Conama, 2006a, 2006b), disciplinam a aplicação de BS, estabelecendo critérios como a concentração máxima permitida no lodo e carga máxima acumulada de metais pela sua aplicação.

No Brasil, o uso de BS tem sido avaliado em diferentes fases de produção florestal, com resultados promissores quanto ao desenvolvimento do eucalipto em viveiro e no campo. Trigueiro e Guerrini (2003); Caldeira et al. (2013, 2014), Kratz et al. (2013) e Silva et al. (2018), comparando mudas do gênero *Eucalyptus* desenvolvidas em substratos comerciais e em substrato a partir de BS, verificaram a viabilidade em utilizar tais resíduos em viveiros florestais. O desenvolvimento das árvores em plantios experimentais, em diferentes fases do cultivo, foi estudado por Vaz e Gonçalves (2002), Soares et al. (2003), Rocha et al. (2004), Barreiros et al. (2007), Lira et al. (2008), Silva et al. (2008a, 2008b, 2011), Arruda et al. (2013), Ferraz et al. (2016) e Abreu Junior et al. (2017). Esses autores verificaram que árvores submetidas ao uso do BS podem apresentar crescimento similar ou superior às árvores submetidas ao uso exclusivo de fertilizantes minerais convencionais. Em algumas circunstâncias, a associação de BS com fertilizantes minerais é desejável, devido à elevada exigência de nutrientes na fase inicial de desenvolvimento do eucalipto, especialmente o P, em virtude da lenta mineralização da matéria orgânica contida no BS e consequente liberação de nutrientes nela contida (Vaz; Gonçalves, 2002; Rocha et al., 2004; Soares, 2003). A qualidade da madeira com uso de BS foi reportada por Barreiros et al. (2007), que observaram redução da densidade básica compensada, entretanto, pela maior produtividade do povoamento. O efeito do uso de BS nas concentrações de nutrientes no tecido foliar das plantas, em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, também foi reportado por Andrade e Mattiazzo (2000), Guedes e Poggiani (2003), Soares et al. (2003), Rocha et al. (2004), Silva et al. (2008b, 2011), sendo que os reflexos destas alterações sobre a produção de serapilheira e as transferências de nutrientes entre os componentes do ecossistema foram descritos com detalhes por Guedes (2000, 2005), Lira et al. (2008) e Silva et al. (2011).

No tocante aos efeitos de BS no solo, diversos trabalhos conduzidos no Brasil para avaliar o efeito da aplicação de BS em plantios de eucalipto relatam efeitos positivos sobre atributos físicos do solo, como a melhoria da estrutura, retenção de água e aeração, bem como em parâmetros químicos do solo, tais como a diminuição da retenção de P nos minerais de argila, na diminuição da acidez, na complexação do Al trocável, no aumento da capacidade de troca de cátions e na disponibilidade de nutrientes (Santos Filho; Tourinho, 1981a, 1981b; Hue, 1995; Vaz; Gonçalves, 2002;

Soares et al., 2003; Melo et al, 2004; Souza et al., 2005; Guedes et al., 2006; Maria et al., 2007; Corrêa et al., 2007; Campos; Alves, 2008; Maio et al., 2011; Campos et al., 2011; Bonini et al., 2015; Ferraz et al., 2016; Florentino et al., 2019). Devido ao grande aporte inicial de matéria orgânica no sistema, alguns autores apontam a viabilidade do uso destes resíduos na recuperação de solos degradados sob uso florestal, devido à recuperação de propriedades físico-hídricas do solo, dentre diversos fatores, (Campos et al., 2011), o incremento de parâmetros relacionados à fertilidade (Soares et al., 2003) e à atividade biológica do solo (Colodro et al., 2007). Efeito indireto do uso de BS na qualidade da matéria orgânica do solo é reportado por Andrade et al. (2005), que apontam maior concentração de lignina na camada superficial do solo, em área sob uso de BS (dose 40 Mg ha^{-1} + suplementação com K), comparativamente às áreas sem uso deste resíduo, justificado pelo aumento na produção e na queda de folhas senescentes das árvores. A não consensualidade quanto às alterações nas concentrações de C da biomassa microbiana do solo (Teixeira et al., 2004; Colodro et al., 2007), bem como nas concentrações de C e de N no solo sob aplicação de biossólido (Soares et al., 2003; Andrade et al., 2005; Lira et al., 2008; Florentino et al., 2019) e explicitam a importância das particularidades de cada ambiente estudado, para adequação das recomendações às condições intrínsecas a cada sistema, tais como tipo de solo, o manejo adotado, o tempo de contato do resíduo com o ambiente estudado e a qualidade do resíduo utilizado. Neste contexto, considerando que mudanças na mineralização da matéria orgânica do solo podem resultar em aumento do fluxo de CO_2 e N_2O (Teixeira et al., 2004; Fernandes et al., 2005; Chiaradia et al., 2009), é imprescindível a atenção às boas práticas de manejo do resíduo com vistas a compensar tais emissões, por meio do sequestro de C no sistema florestal (Fernandes et al., 2005; Teixeira, 2006).

No que se refere à presença de elementos potencialmente tóxicos, Lourenço et al. (1999), em trabalho de parceria com a Embrapa Florestas e a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), não observaram alterações nas concentrações de Cd, Cr, Pb e Ni, com a aplicação de até 70 Mg ha^{-1} de BS em cultivo de bracatinga (*Mimosa scabrella*). Com relação à mobilidade de metais pesados, em solos sob plantios florestais no Brasil, foi verificado tanto a não movimentação de alguns elementos no perfil do solo sob uso de BS para Cd, Cr, Cu, Ni, nas doses 10 Mg ha^{-1} a 40 Mg ha^{-1} (Lourenço et al., 1999; Andrade; Mattiazzo, 2000), para Cd, Cr, Mn, Ni e Pb (Anjos; Mattiazzo, 2000) e para Cd, Cr, Hg, Pb e Ni (Correa et al., 2008), quanto o aumento nos teores de alguns elementos, conforme verificado por Florentino et al. (2019) em solo sob eucalipto, entre 10 e 17 anos após aplicação deste resíduo, para os oligoelementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se e Zn. Importante salientar que, nesta pesquisa, tais elementos não superaram os valores de referência de qualidade do solo preconizados para a região experimental (estado de São Paulo), o que resultaria em baixo risco, em termos de contaminação do solo. Florentino et al. (2019) orientam que se evite generalizações sobre os efeitos residuais de longo prazo relacionados às

aplicações de BS, uma vez que uma série de fatores pode influenciar nas respostas do sistema estudado, como as condições de clima, de solo, as características e quantidades do BS. Verifica-se, desta forma, a importância da condução de estudos em condições de campo (Abreu Júnior et al., 2019) no longo prazo (Florentino et al., 2019), para orientar produtores e formuladores de políticas públicas sobre as melhores práticas para seu aproveitamento e manejo, bem como para avaliar melhor os riscos ambientais da aplicação de BS nos plantios florestais.

Resíduos da produção de celulose e papel

Os lodos gerados nas estações de tratamento de efluentes são os principais resíduos gerados na obtenção da celulose, variando de 28,2% a 58,6% do total dos resíduos gerados, seguidos por *dregs* e *grits*, variando de 3,0% a 8,1% e as cinzas leves que variam de 0,7% a 2,2% (CNI, 1989). A lama de cal tem geração intermitente e ocorre em momentos em que haja necessidade de manutenção dos equipamentos utilizados no processo de recuperação do licor de cozimento dos cavacos de madeira. As principais características destes resíduos são apresentadas a seguir:

Lodos da estação de tratamento de efluentes (ETE)

Os efluentes líquidos gerados no processamento de madeira para produção de celulose e papel e reciclagem de aparas de papel são tratados em ETE, sendo o processo de tratamento do efluente dividido em três etapas, resultando em três tipos de resíduo: i) primário (decantação – impurezas: cargas minerais e terra e fibras não recuperáveis); ii) secundário (reator biológico – matéria orgânica); iii) terciário (clarificação – basicamente hidróxido de alumínio). Por questões técnicas, operacionais e financeiras, há casos em que os lodos são adensados e desaguados conjuntamente, podendo denominar o lodo resultante como lodo misto.

A composição química do lodo celulósico é influenciada pela origem dos efluentes. Assim, o tratamento de efluentes em complexos de reciclagem de aparas de papel branca geram lodos distintos daqueles da reciclagem de aparas não branqueada que, por sua vez, são distintas daqueles lodos gerados no tratamento de efluentes da extração de celulose (Bergamin et al., 1994; Moro, 1994; Maeda et al., 2013).

***Dregs*, *grits* e lama de cal**

Esses resíduos são gerados nas diferentes etapas do processo de recuperação do licor de cozimento da madeira para extração da fibra celulósica, no processo Kraft. O dregs é um resíduo gerado na caldeira de recuperação do licor de cozimento (clarificação do licor verde), sendo uma impureza do processo de combustão do licor negro concentrado. É um resíduo sólido, de cor escura, odor característico, de granulometria

fina e natureza alcalina. Na sua composição predominam o CaO (35,7%), silicatos (30,4%) e carbono orgânico (20,8%), seguidos por MgO (3,62%), Na (4,7%), metais (3,2%), sulfitos e N. Os metais originam-se do desgaste dos equipamentos e dos insumos utilizados no processo. Conforme Waldemar e Herrera (1986), o poder de neutralização do dregs é equivalente ao carbonato de cálcio puro. Por sua vez, o grits é gerado no processo de decomposição térmica da lama de carbonato de cálcio proveniente da caustificação no forno de cal (apagamento da cal virgem). Apresenta cor escura, sem odor, de natureza alcalina com granulometria média. Em sua composição predomina o CaO (53%), silicatos (41,50%), MgO (1,83%), Na (0,13%) e K_2O (1,20%). Embora coletados separadamente, com frequência o dregs e o grits são misturados e depositados em aterros industriais. Conforme Waldemar e Herrera (1986) o poder de neutralização do grits é equivalente a 72% do carbonato de cálcio puro e a mistura com o dregs resulta num composto com poder de neutralização médio de 82% (Waldemar; Herrera, 1986; Bergamin et al., 1994).

A lama de cal é gerada na etapa de caustificação, no processo de recuperação do licor de cozimento. Nessa etapa, é utilizada a cal hidratada, a qual se transforma em carbonato de cálcio, sendo tratada num processo de combustão e hidratação, para retornar ao processo como cal hidratada. Nos momentos em que houver necessidade de realizar a manutenção do forno de cal, o carbonato de cálcio (lama de cal) necessita ser descartado. A lama de cal é um sólido de coloração cinza claro, homogêneo e sem odor característico. Esse resíduo é rico em CaO (34%), pobre em MgO (0,8%) e com a presença de sódio em baixos níveis (1,5%).

Cinzas

Geradas pela queima de biomassa de madeira – cavacos e cascas - em caldeiras para geração de energia elétrica ou vapor. A composição da cinza de biomassa depende da matéria-prima utilizada e também da requeima do resíduo. Trata-se de um resíduo alcalino, com predomínio de CaO (25% a 35%), SiO_2 (18% a 25%), K_2O (10% a 15%), MgO (6% a 7%) e P_2O_5 (1,6% a 3,4%), indicando o potencial da cinza como condicionador do solo e como fonte de nutriente para as plantas (CNI, 1989). Comparadas ao *dregs*, *grits* e lama de cal, as cinzas são mais equilibradas nutricionalmente e podem, com restrições, ser comparadas aos fertilizantes formulados.

Uso em plantios florestais

Os componentes orgânicos e inorgânicos do lodo celulósico, da cinza de biomassa de madeira, da lama de cal, do *dregs* e do *grits* podem ter efeitos positivos, especialmente em solos que apresentam baixos conteúdos de matéria orgânica e nutrientes. Isolado ou em misturas, esses materiais têm sido avaliados como fontes de nutrientes, para a produção de mudas de espécies de eucaliptos e em plantios. Considerando a

contribuição dos resíduos gerados pelas indústrias de celulose e papel sobre a fertilidade do solo e sobre atributos físicos do solo, é pertinente se esperar efeitos positivos sobre a produtividade de eucalipto quando aplicado de acordo com as suas necessidades.

No Brasil, um dos primeiros estudos para avaliar a qualidade agronômica de resíduo de indústria de celulose e papel foi realizado por Tedesco e Zanotto (1978). Os autores, avaliando o efeito do *grits* em características químicas de um Oxisol (unidade Vacaria), no Rio Grande do Sul, observaram que o efeito das frações mais finas do resíduo sobre a acidez e o Al trocável foi similar ao de um carbonato de cálcio e que a eficiência das frações mais grosseiras melhorou com o tempo de reação. Albuquerque et al. (2002), Trigueiro (2006), Barreto (2008), avaliando o efeito de *dregs* e *grits*, isolados ou em misturas, nas características químicas e físicas do solo, observaram a redução do teor e da saturação por Al, aumento do pH e dos teores de Ca, Mg, K e Na trocáveis, do potencial elétrico negativo do solo e ausência de efeito na estabilidade dos agregados.

Estudos conduzidos pela Embrapa Florestas, com a parceria da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), da Iguaçu Celulose e Papel S.A. e da Irani Papel e Embalagem S.A. mostraram efeitos positivos da lama de cal sobre o pH e teores de Ca no solo, podendo ser caracterizado como um substituto do calcário calcítico (Bognola et al., 1997; Lourenço, 1997; Maeda et al., 2011; Maeda; Bognola, 2013; Simonete et al., 2013). Todavia, devido ao baixo teor de Mg normalmente presente na lama de cal, o seu uso em solos com baixo teor do nutriente pode ser prejudicial, em virtude da inibição competitiva entre os mesmos, sendo necessário precauções em sua aplicação. Segundo Lourenço (1997) e Maeda et al. (2011), o efeito do Na sobre a dispersão da argila, diminuindo a permeabilidade, a aeração, prejudicando o manejo do solo e o desenvolvimento de plantas sensíveis ao elemento é irrelevante, nos teores presentes na lama de cal estudada.

Barros et al. (1982), avaliando o efeito da cinza remanescente da queima de resíduos vegetais da colheita de biomassa de *Eucalyptus grandis*, nas características químicas do solo, encontraram aumentos consideráveis nos teores de P, K, Ca e Mg, C e N, na camada de 0-20 cm. Em condições controladas, Silva (2008) avaliando o efeito de doses de cinza de biomassa florestal, em Cambissolo Húmico Álico e Nitossolo Háplico encontrou aumentos nos teores de K, P, Ca, Mg, na soma de bases e na saturação por bases, com pequena elevação no pH do solo. Maeda e Bognola (2013), em trabalho conduzido pela Embrapa Florestas, com a parceria da Companhia Volta Grande de Papel e a Irani Papel e Embalagem S.A., avaliaram o efeito de cinza de biomassa de duas fontes e de lodos da reciclagem de papel e da extração de celulose nas características químicas de um Neossolo Regolítico distrófico húmico. Verificou-se que a acidez do solo e os teores de Al diminuíram com a aplicação dos materiais estudados e que esses materiais promoveram aumentos nos teores de Ca, Mg, K e P.

Os efeitos mais expressivos foram observados com a aplicação do lodo da reciclagem de papel, principalmente no teor de Ca.

Diversos trabalhos foram conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação desses resíduos em plantios de eucalipto, com resultados positivos sobre a produtividade de madeira e alguns casos mostraram ganhos de produtividade equivalentes ou superiores aos obtidos com a aplicação de adubos minerais. Isolados ou em mistura, estudos conduzidos por Barros et al. (1982), Stape e Balloni (1988), Stape e Zani Filho (1990), Benedetti (1994), Guerrini e Moro (1994), Moro (1994), Fabres et al. (1994), Bellote et al. (1998), Trigueiro (2006) e Barreto (2008), para avaliar o efeito de doses de *dregs*, *grits*, cinza e lodo celulósico, combinados ou não entre os resíduos, com ou sem adubações minerais, em diferentes espécies de eucalipto, idades e condições edafoclimáticas encontraram incrementos de produtividade que variaram de 10% a 465%.

Trabalhos conduzidos pela Embrapa Florestas, com as parcerias da Indústria de Papel Arapoti S.A. (Inpacel) (Andrade et al., 2003), International Paper do Brasil (Dedececk; Bellote, 2008), Irani Papel e Embalagem S.A. (Maeda et al., 2015, 2018); da Companhia Volta Grande de Papel (Maeda et al., 2017), para avaliar o efeito de resíduos como a lama de cal, lodo celulósico, cinzas combinadas ou não entre si e com fertilizantes minerais, com diferentes espécies de eucalipto, em diferentes condições edafoclimáticas, no geral, mostraram aumentos na produtividade de biomassa com a aplicação dos resíduos. Andrade et al. (2003), observaram, aos 72 meses de idade, efeitos quadráticos de P em cada dose de lodo aplicado e que, à medida que se aumentou a dose de lodo, houve a redução da necessidade de P para a máxima produtividade de biomassa de *E. dunnii*. Dedecek e Bellote (2008), estudando o efeito da manutenção e retirada de resíduos da colheita de eucalipto combinado com a aplicação de lodo celulósico e cinza de biomassa de madeira no plantio de *E. grandis*, em duas classes de solo, observaram maior crescimento em altura e diâmetro a altura do peito das árvores nos tratamentos onde foram mantidos os resíduos da colheita na superfície do solo, principalmente no solo de textura média que normalmente apresenta maior deficiência química, menor capacidade de retenção de nutrientes e disponibilidade hídrica, comparado ao solo argiloso estudado. Com a retirada total dos resíduos de colheita, a aplicação de 15 Mg ha^{-1} de lodo celulósico e 4 Mg ha^{-1} de cinza de biomassa de madeira proporcionou aumento de 65% no volume cilíndrico de madeira. O menor volume foi obtido na ausência de resíduos de colheita e resíduos industriais. Maeda et al. (2018), avaliando o efeito da combinação de lama de cal e cinza de madeira em plantio de *E. benthammi*, com 72 meses de idade, mostraram que a aplicação combinada dos resíduos apresentou produções de biomassa de tronco superiores à aplicação isolada dos mesmos, com efeitos quadráticos, com as maiores produções de biomassa de tronco sendo obtidos com a aplicação de 5 Mg ha^{-1} da mistura. A produção de biomassa de tronco obtida com a aplicação de 5 Mg ha^{-1} da mistura foi

superior em 46% àquela obtida com a aplicação de 3 Mg ha^{-1} de cinza de madeira e 57% àquela obtida com a aplicação de 4 Mg ha^{-1} de lama de cal. A aplicação de 1,5 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico apresentou produção superior à aplicação isolada de lama de cal e de cinza de madeira e inferior à aplicação combinada de ambos os materiais. Maeda et al. (2018), avaliando o efeito da aplicação de lodo da reciclagem de papel, calcário dolomítico e de cinza de madeira em plantio de *E. benthammi*, observaram, aos 80 meses de idade, que a aplicação isolada de calcário e de cinza de madeira, em doses estimadas para elevar a 5,5 o pH em água, pelo método do pH SMP (12,5 Mg ha^{-1}), resultaram nos maiores volumes de madeira; quando a aplicação do lodo (25%) foi combinada com calcário dolomítico (75%), a biomassa produzida se equivaleu à aquela obtida com aplicação isolada de calcário dolomítico. O lodo celulósico estudado é um material alcalino, com elevado teor de Ca e reduzido teor de Mg e os aumentos proporcionados pela aplicação isolada desse material foram reduzidos.

Com relação ao efeito da aplicação de lodo celulósico sobre a mesofauna do solo, Santana et al. (2006), em estudo conduzido pela Embrapa Florestas, com a parceria da Indústria de Papel Arapoti S.A.- Inpacel, concluíram que o lodo celulósico estudado apresentou efeito positivo sobre a população de ácaros e colêmbolas.

Toledo et al. (2015), estudando a qualidade das mudas do híbrido "urograndis" produzidas em substratos contendo composto orgânico nas proporções 40:60 e 20:80 (substrato base: composto orgânico), proveniente de resíduos de fábrica de papel e celulose, mostraram a superior qualidade das mudas produzidas com o substrato base de controle, de acordo com as variáveis avaliadas.

Resíduos de granjas suinícolas: os dejetos suínos

A suinocultura compreende um rebanho mundial de 773 milhões de cabeças (USDA, 2018), atendendo mais de 36% do consumo de carne no planeta, superior ao consumo de aves e carne bovina, que representa 35% e 22% do consumo mundial, respectivamente (FAO, 2019). O Brasil é o 4º maior produtor de suínos em quantidade de cabeça animal, atrás somente da China, União Européia e Estados Unidos (USDA, 2018). O principal resíduo gerado durante o processo de cria e engorda é o chamado "dejeto suíno" (DS), com volume médio estimado entre 1,4 a 27 (IAP, 2009) e 2 e 47 (IMA, 2009) litros de dejeto por animal ao dia, variável conforme o modelo de sistema de produção. Possui composição essencialmente orgânica, constituído por restos de ração, água dos bebedouros, urina, fezes e pelos, equivalendo, em média, de 5% a 8% do peso do animal (Vivan et al., 2010). De acordo com Menezes et al. (2002), possivelmente a forma líquida representa mais de 95% dos DSs gerados no Brasil, sendo o excesso de água um fator que muitas vezes inviabiliza economicamente seu transporte e aplicação. Esses dejetos apresentam diversos nutrientes em sua composição, em quantidades muitas vezes desproporcionais à demanda das culturas.

Destes nutrientes, merecem atenção os teores de N, P, Cu e Zn (Corrêa, 2011b), sendo que o Cu e o Zn normalmente apresentam teores elevados devido à suplementação alimentar e à presença em medicamentos utilizados nos cuidados com a saúde dos animais. A aplicação de DS no solo é uma prática geralmente verificada em culturas agrícolas e em espécies forrageiras (Assmann et al., 2007, 2018; Medeiros et al., 2007; Miranda, 2007, Giacomini; Aita, 2008; Balota et al., 2014; Scherer et al., 2015), sendo escassos os estudos relacionando o uso de dejetos animais em plantios florestais (Marron, 2015).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados disponíveis na literatura, relacionados ao uso de DS em sistemas florestais. Nesta, pode-se observar que os artigos publicados nos últimos doze anos são referentes a plantios em condições pedoclimáticas, formas de tratamento, qualidade e graus de maturação do resíduo muito diversificadas. Apesar da heterogeneidade das condições avaliadas, os resultados neles contidos indicam grande potencial de uso como biofertilizante ou como condicionador de DS em solos sob plantios com espécies arbóreas de rápido crescimento.

No Brasil, os primeiros resultados sobre o uso de DS em eucalipto foram relatados por Ribeiro et al. (2015) e De Sá Vanin et al. (2017), ambos obtidos em condições de casa de vegetação. Mais recentemente, a parceria entre a Itaipu Binacional, a CiBiogas e a Embrapa Florestas tem possibilitado a estruturação de uma rede de pesquisa voltada à produção e uso de espécies de eucaliptos introduzidas no Oeste do Paraná, para atendimento à grande demanda regional por biomassa florestal, para fins energéticos. No âmbito desta parceria, ações de pesquisa sobre o uso de DS na forma líquida - DLS - em eucalipto estão sendo realizadas na Unidade Hidrográfica Piquiri-Paraná 2, cujo principal curso d'água, o Rio Piquiri, desagua próximo ao reservatório formado pela Usina Hidroelétrica de Itaipu, de importância internacional, por constituir a maior produção acumulada de energia hidroelétrica do mundo (Itaipu Binacional, 2017). O Relatório Anual da Itaipu Binacional de 2017 aponta, como uma fragilidade a ser equacionada, a eutrofização do reservatório devido ao acúmulo de sedimentos advindos de áreas agrícolas, carentes quanto à adoção de práticas conservacionistas e disposição de dejetos de suinocultura e bovinocultura sem tratamento adequado (Itaipu Binacional, 2017).

Em atendimento a estas demandas, Wrege et al. (2018) e Soares et al. (2018, 2019) disponibilizaram informações regionais relacionados à aptidão de solos, a zonas climáticas favoráveis ao desenvolvimento de eucalipto e manejo de fertilidade do solo no estabelecimento inicial da espécie, com o uso de adubos minerais e DLS tratados (estabilizados em lagoas). No estabelecimento inicial do clone AEC 144, em um Latossolo Vermelho Distrófico, textura média/argilosa, a eficiência do DS para o desenvolvimento inicial das plantas, nas doses 80 m^3 ha^{-1} e na dose 10 m^3 ha^{-1} mais fósforo solúvel foi similar ao observado com o uso de fertilizantes minerais sintéticos (NPK), indicando a possibilidade de substituição parcial do fertilizante

Tabela 2. Síntese dos resultados encontrados na literatura referentes ao efeito de dejetos suínos em plantios florestais, sob condições controladas

	Local	Resíduo	Espécie	C.E.[1]	Principais resultados	Referência
1	Canadá	Mistura de biossólido da indústria de papel e celulose com DLS	*Populus* spp.	cp	Aumento na produção sob uso simultâneo dos dois resíduos.	Lteif et al. (2007)
2	"	Dejeto líquido de suínos (DLS)	*Salix* sp.	cp	Aumento da produção de fitomassa pelo uso de DLS, que possibilitaria redução dos ciclos de rotação, com significativa diminuição dos custos de produção.	Cavanagh et al. (2011), Guidi et al. (2013)
3	Quebec Canadá	Dejeto líquido de suínos (DLS)	*Populus* spp.	cp	Aumento no tamanho, volume, fitomassa e conteúdo de carbono na espécie, bem como aumento dos teores foliares de N e K comparado com o tratamento controle. Manutenção da capacidade de sequestro de C da biomassa aérea similar aos plantios comerciais.	Lafleur et al. (2012)
4	República da Coreia	Biofertilizante: da compostagem e biofiltração de dejeto suíno ("SCB liquid fertilizer")	*Populus alba* × *glandulosa*	cv	Maior produção de matéria seca da parte aérea de plantas em solo contaminado com Cd e Pb.	Han et al. (2012)
5	Estônia	DLS biodigerido (digestato)	*Salix* sp.	cv	Maior produção de fitomassa nos tratamentos sob uso de DLS quando comparado com fertilização mineral.	Holm e Heinsoo (2014)
6	Brasil	Lodo oriundo de lagoas (granjas suinícolas)	eucalipto clone *AEC 1528*	cv	Produção de matéria seca semelhante sob uso de resíduo e fertilização química.	Ribeiro et al. (2015)
7	China	Dejetos bovino, suíno e fertilizante orgânico	*Eucalyptus camaldulensis*	cv e cp	Melhor desenvolvimento da espécie sob uso dos resíduos.	Meeinkuirt et al. (2016)
8	Brasil	Lodo oriundo de lagoas (granjas suinícolas)	híbrido "urograndis" 3241 (GG100)	cv	Parâmetros de produção similares entre tratamentos sob fertilização química e sob lodo.	De Sá Vanin et al. (2017)
9	Brasil	Dejeto líquido de suínos (sistemas de lagoas de estabilização)	*Eucalyptus urophylla* clone AEC 144	cp	Desenvolvimento das plantas, nas doses 80 m^3 ha^{-1} e na dose 10 m^3 ha^{-1} mais fósforo solúvel foi similar ao observado com o uso de NPK.	Soares et al. (2018, 2019)

[1] Condições experimentais: "cp" campo; "cv" casa de vegetação.

mineral pelo DLS, durante o estabelecimento inicial da cultura (Soares et al., 2019). É importante considerar que, embora parâmetros de produtividade sejam insuficientes para avaliar a sustentabilidade de sistemas adubados com dejetos animais no longo prazo (Seganfredo et al., 2007), tais resultados constituem nos primeiros relatos, sob condições experimentais de campo, acerca do desenvolvimento da espécie florestal mais utilizada em plantios comerciais no Brasil (Stape et al., 2010) e de um material genético entre os mais indicados para plantios que visem ao fornecimento de matéria-prima para geração de energia (Santos; Paludzyszyn Filho, 2014).

Apesar da carência de informações referentes ao uso de resíduos de origem animal em espécies florestais de rápido crescimento, documentos técnicos fornecem diretrizes para o uso racional de DS no solo, em atenção ao aproveitamento dos nutrientes pelas culturas, concomitante à capacidade de assimilação e reciclagem do sistema de produção, conforme sumarizado a seguir:

- Para o estado do Paraná, os fundamentos e aspectos legais, características, critérios, procedimentos, dentre outros, para a concessão de Licenciamento e/ou autorização ambiental de empreendimentos de suinocultura, incluindo-se o uso agrícola de DS, estão sintetizados na Instrução Normativa 105.006/2009 (IAP, 2004, 2009). Os critérios mínimos para a aplicação dos dejetos no solo para fins agrícolas são apresentados no Anexo 5 da IN 105.006/2009 que, dentre alguns fatores, orienta que o dejeto a ser utilizado deve respeitar os teores limites de cobre e de zinco de 2.500 e 1.000 mg kg^{-1} de matéria seca, respectivamente, a fertilidade e condições físicas do solo e a recomendação de adubação para a cultura utilizada (IAP, 2004). Orientações técnicas adicionais referentes à aplicação do DS em culturas agrícolas ou florestais, como uso de fórmulas e coeficientes para cálculos de volume e teores limites de nutrientes no solo que devem ser evitados são apresentados por Pauletti e Motta (2017).
- Para fins de uso agrícola e florestal do DS, a necessidade e importância da obtenção de informações como o tipo de solo, topografia e histórico de adubações, bem como a avaliação da fertilidade do solo, da composição química do dejeto e da necessidade nutricional da cultura são enfatizados por Corrêa et al. (2011a).
- Os critérios de aptidão de terras paranaenses para utilização do DS são apresentados por IAP (2004).
- Aspectos práticos relacionados ao controle da qualidade do resíduo em campo, antes de sua disposição no solo, por meio da sua densidade volumétrica ou concentração de sólidos, com certa ressalva são sugeridos por Scherer et al. (1995), Miranda et al. (1999), Diesel et al. (2002), Corrêa et al. (2011a), Miyazawa e Barbosa (2015), Pauletti e Motta (2017) e Vedovato et al. (2019).

No tocante aos benefícios do tratamento e uso de DS em sistemas florestais, salienta-se que ambas as práticas podem ser manejadas como estratégias mitigadoras da emissão de gases do efeito estufa (GEE), conforme estabelecido pelo plano ABC - Agricultura de Baixo Carbono do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2017). Conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), órgão científico vinculado à Organização das Nações Unidas (ONU) e à Organização Meteorológica Mundial (OMM), a mitigação corresponde a uma intervenção antropogênica voltada a reduzir as emissões ou aumentar os sumidouros de gases do efeito estufa (IPCC, 2014). O interesse crescente pelo tema na comunidade científica é justificado pela necessidade de enfrentamento multidisciplinar da questão, com foco na geração de subsídios técnicos à elaboração, aprimoramento de tecnologias e na formação de políticas públicas (King et al., 2018; Smith et al., 2018).

Demandas relacionadas à C&T

A geração de resíduos industriais e de dejetos de suínos segue uma lógica de mercado, com oscilações na quantidade gerada, associada à demanda de seus produtos. Por outro lado, a geração de biossólidos depende da implantação de redes coletoras de efluentes e de estações de tratamentos dos mesmos. No Brasil, há uma grande deficiência na implantação e operação de estações de tratamento de efluentes. Segundo o Instituto Trata Brasil (2019), 52,4% da população brasileira é servida por rede de coleta de esgotos e, do total coletado, apenas 46% é submetido a tratamento. Isso indica que a ampliação do serviço de coleta e tratamento de esgoto têm um potencial de aumentar em quatro vezes a quantidade de biossólido gerado nas estações de tratamento de efluentes sanitários no Brasil. Apesar do grande potencial de oferta de biossólido, é de se supor que a sua disposição em plantios florestais, principalmente naqueles destinados ao fornecimento de matéria-prima para a produção de celulose, poderá ser limitada pela concorrência dos resíduos gerados pelas indústrias de celulose, que priorizará o aproveitamento de seus próprios resíduos.

As informações sobre os resíduos aqui apresentadas evidenciam o potencial para aproveitamento como fonte de nutrientes e condicionador de solos, sendo os plantios florestais comerciais uma alternativa para a sua disposição. Todavia, há lacunas no conhecimento para implantação de sistemas com o princípio de tecnologia verde visando sua sustentabilidade e mitigação de impactos ambientais, com segurança da aceitação do produto final em um mercado internacional cada dia mais exigente e competitivo neste aspecto. Seguem algumas demandas de fomento e pesquisa em âmbito nacional:

- Adequação de doses, épocas e formas de aplicação do (s) resíduo (s) em plantações de eucalipto, visando diminuir o uso e a dependência de insumos exógenos, manter ou incrementar a matéria orgânica do solo e reduzir a emissão de GEE, considerando especificidades regionais tais como o nível tecnológico adotado e condições pedoclimáticas.
- Estudos de longo prazo para o monitoramento do sistema solo-planta-atmosfera quanto à capacidade de reciclagem de resíduos e proteção aos recursos naturais. Neste tocante, é fundamental a regionalização dos esforços de pesquisa, considerando a grande variabilidade do ambiente físico, tecnológico e sociocultural e a evolução temporal dos sistemas e das condições de produção.
- Especificamente no que se refere aos dejetos de suínos, as demandas estão relacionadas à ampliação de redes multidisciplinares de pesquisas, que atuem no longo prazo e que sejam voltadas à geração, à adaptação e à viabilização econômica de tecnologias mais limpas, tais como a compostagem (Sardá et al., 2010; Grave et al., 2015), a vermicompostagem (Luth et al., 2011), a biodigestão de dejetos animais e o aproveitamento energético do biogás (Grave et al., 2015; Saviotti et al., 2016), bem como a divulgação e incentivo à adoção de tecnologias voltadas à redução na geração do DLS, diminuição da sua carga poluente e de sua heterogeneidade.

Considerações finais

Conforme determinação legal, o gerador do resíduo é responsável pela sua destinação. Com isso, o interesse e a necessidade de seu aproveitamento acentuaram-se nos últimos anos e a disposição em áreas florestais tornou-se uma das formas mais importantes de destinação. Os resíduos das indústrias de celulose e papel, lodo biológico e dejeto de suínos são materiais que apresentam, em suas composições, matéria orgânica, nutrientes para as plantas e poder de neutralização da acidez do solo. Um dos problemas relacionados à composição química dos resíduos está relacionado com o desbalanço entre os teores de nutrientes, o que requer cuidados em sua aplicação. Tendo em vista as características dos plantios florestais, os resultados de pesquisas mostram que a aplicação desses resíduos em plantios de eucalipto, com as cautelas legais, ambientais, técnicas e financeiras, é uma forma adequada de disposição dos mesmos, com respostas positivas na produtividade de biomassa. Para a maioria dos resíduos aqui apresentados, os resultados de pesquisa com eucalipto disponibilizados em literatura relatam informações oriundas de povoamentos que não atingiram o ponto de colheita, o que limita a sua interpretação por não contemplar todo ciclo da cultura e suas sucessivas rotações. Deve ser destacada também a carência de resultados de pesquisa considerando a qualidade da biomassa produzida sob aplicação destes resíduos. Neste tocante, atenção deve ser dada a eventuais

alterações na qualidade da matéria-prima produzida (madeira), a fim de assegurar o atendimento das especificações voltadas à finalidade da produção (energia, celulose, serraria e outros usos).

Apesar dos efeitos positivos observados com a aplicação dos resíduos de origem agropecuária, urbana e industrial em plantios de eucalipto, o aperfeiçoamento dos dispositivos legais referentes ao tema poderá, no futuro, resultar em maior rigor quanto à disposição dos mesmos em áreas agrícolas e florestais. Além disso, a necessidade premente de se melhorar a eficiência dos sistemas florestais em fixar carbono, bem como a aderência deste tema a políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação às mudanças do clima, demandará maior atenção da comunidade científica para a superação de desafios logísticos e tecnológicos ainda encontrados em diversas etapas de geração, tratamento e disposição destes resíduos no solo. Por fim, as ações de pesquisa sobre o tema deverão priorizar estudos de longo prazo voltados a monitorar eventuais mudanças na produção florestal e em variáveis ambientais, a fim de orientar os formuladores de políticas públicas, empresas geradoras e produtores usuários dos resíduos, sobre as melhores práticas para sua utilização e manejo corretos.

Referências

ABREU-JUNIOR, C. H.; FIRME, L. P.; MALDONADO, C. A. B.; MORAES NETO, S. P de; ALVES, M. C.; MURAOKA, T.; BOARETO, A. E.; GAVA, J. L.; HE, Z.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPARA, G. F. Fertilization using sewage sludge in unfertile tropical soils increased wood production in *Eucalyptus* plantations. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 51-58, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.074.

ABREU-JUNIOR, C. H.; LIMA BROSSI, M. J. de; MONTEIRO, R. T.; CARDOSO, P. H. S.; SILVA MANDU, T. da; NOGUEIRA, T. A. R.; HE, Z. Effects of sewage sludge application on unfertile tropical soils evaluated by multiple approaches: A field experiment in a commercial *Eucalyptus* plantation. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 1457-1467, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.334.

AHRENS, S.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. Plantações florestais comerciais, a certificação e os diálogos setoriais. In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (ed.). **Plantações florestais**: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 73-78. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1076160/1/PlantacoesflorestaisCapitulo7.pdf.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1065-1073, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400024.

ANDRADE, C. A. de; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 58, p. 50-72, 2000.

ANDRADE, C. A. D.; OLIVEIRA, C. D.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 803-816, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500016.

ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 47, p. 43-54, 2003.

ANJOS, A. R. M. dos; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, p. 769-776, 2000.

ARRUDA, O. G. de; ALVES, M. C.; BONINI, C. dos S. B.; MARCHINI, D. de C. Atributos físicos de um Latossolo degradado tratado com biossólido há cinco anos. **Científica**, v. 41, n. 1, p. 73-81, 2013.

ASSMANN, T. S.; ASMANN, A. L.; SARTOR, L. R.; ZORTÉA, T. Soil nitrate, phosphorus and potassium concentration after four years of liquid swine manure application on Tifton 85. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 36, p. 1907-1914, 2018.

ASSMANN, T. S.; ASSMANN, J. M.; CASSOL, L. C.; DIEHL, R. C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1515-1523, 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600028.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I.; YADA, I. F.; BARBOSA, G. M.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, n. 490, p. 397-404, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019.

BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. de. M.; SANSIGOLO, C. A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.

BARRETO, V. C. de M. **Resíduos de indústria de papel e celulose na fertilidade do solo e no desenvolvimento do eucalipto**. 2008. 64 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BARROS, N. F. de; PEREIRA, A. R.; BORBA, A. M. Liberação de nutrientes minerais mediante a queima de leiras. **Revista Árvore**, v. 6, n. 1, p. 84-89, 1982.

BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. de. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* HILL ex-Maiden em função da idade: 1- macronutrientes. **IPEF**, n. 20, p. 1-23, 1980.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 37, p. 99-106, 1998.

BENEDETTI, W. Utilização de resíduos industriais na Ripasa S/A Celulose e Papel como insumos na produção florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 141-154.

BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, E. Resíduo de fábrica de celulose e papel; lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 97-120.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola do lodo de esgoto: avaliação após resolução nº 375 do CONAMA. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 31-50.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: _____. (ed.). Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 21-35.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. F.; ANDRADE, G. de C. Avaliação de lama de cal como corretivo do solo. In.: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 125-128.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D4954.htm>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. **Decreto nº 8.059, de 26 de julho de 2013**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 jul. 2013. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/D8059.htm>. Acesso em: 23 set. 2015.

BRASIL. **Decreto n° 8.384, de 29 de dezembro de 2014**. Altera o Anexo ao Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 dez. 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. **Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. **Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política de Resíduos Sólidos; altera a Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro 1998 e dá outras providencias. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. **Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Ações do plano**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/acoes-do-plano>. Acesso em: 26 fev. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Aprovar as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 jul. 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa n° 27 de 5 de maio de 2006**. Diário das Leis, São Paulo, 2009. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jun. 2006. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>. Acesso em: 14 maio 2019.

CALDEIRA, M. V.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. de O.; SILVA, A. G. da. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CALDEIRA, M. V.; GONÇALVES, E. de O.; TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café in natura. **Revista Floresta**, v. 44, n. 2, p. 195-206, 2014.

CAMPOS, F. D. de; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. **Ciência Rural**, v. 41, n. 5, p. 796-803, 2011.

CAMPOS, F. da S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1389-1397, 2008.

CAVANAGH, A.; GASSER, M. O.; LABRECQUE, M. Pig slurry as fertilizer on willow plantation. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 10, p. 4165-4173, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.037.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica P4.002**: efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, 2010. 20 p.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica P4.230**: aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projetos e operação. São Paulo, 1999a. 32 p.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica P4.233**: lodos de curtumes: critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico. São Paulo, 1999b. 38 p.

CHIARADIA, J. J.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A. D.; CARMO, J. B. D.; OLIVEIRA, C. D.; LAVORENTI, A. CO_2, CH_4 and N_2O fluxes in an Ultisol treated with sewage sludge and cultivated with castor bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1863-1870, 2009.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Gerenciamento de resíduos em complexos integrados de papel e celulose**. Rio de Janeiro, 1989. 40 p.

COLODRO, G.; ESPINDOLA, C. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 195-198, 2007.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. In: _____. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2012b. p. 715-739. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>. Acesso em: 14 maio 2019.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 380, de 31 de outubro de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. In: _____. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2012c. p. 740-741. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=514>. Acesso em: 14 maio 2019.

COOK, R. L.; BILKLEY, D.; STAPE, J. L. *Eucalyptus* plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 92-98, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.035.

CORRÊA, J. C.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, A. C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama de cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1307-1317, 2007.

CORREA, J. C.; BULL, L. T.; PAGANINI, W. da S.; GUERRINI, I. A. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 3, p. 411-419, 2008.

CORRÊA, J. C.; NICOLOSO, R. D. S.; MENEZES, J. F. S.; BENITES, V. D. M. **Critérios técnicos para recomendação de biofertilizante de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011a. 8 p. (Embrapa Suínos e Aves, Comunicado técnico, 486). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia. embrapa.br/bitstream/doc/910346/1/publicacao486.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2019.

CORRÊA, J. C.; VARILLI, J.; REBELLATTO, A.; VEIGA. M. da. **Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011b. 18 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular técnica, 58). Disponível em: < https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/906227/1/circulartecnica58.pdf >. Acesso em: 1 mar. 2019.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J. **Uso de resíduos de colheita e industriais em plantações de eucaliptos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 221). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/315903>.

DE SÁ VANIN, L. G.; MAGALHÃES, J. L.; RODRIGUES, A. A.; MENEZES, J. F. S.; ANDRE, G. Swine biosolids in initial growth of *Eucalyptus*. **Revista Espacios**, v. 38, n. 41, 2017.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.; PERDOMO, C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Porto Alegre: Emater/RS, 2002. 31 p. (Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão, 14). Disponível em: <http:// docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

FABRES, A. S.; COUTO, C.; CONCEIÇÃO, D. A. Uso de resíduo industrial de celulose em florestas. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 121-154.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Animal production and health**: sources of meat. Rome, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/backgr_sources.html>. Acesso em: 1 mar. 2019.

FERNANDES, S. A. P.; BETTIOL, W.; CERRI, C. C.; CAMARGO, P. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil–atmosphere interface, on soil δ13C and on total soil carbon and nitrogen. **Geoderma**, v. 125, n. 1-2, p. 49-57, 2005.

FERRAZ, A. V.; MOMENTEL, L. T.; POGGIANI, F. Soil fertility, growth and mineral nutrition in Eucalyptus grandis plantation fertilized with different kinds of sewage sludge. **New Forests**. v. 47, n. 6, p. 861-876, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-016-9549-1.

FLORENTINO, A. L.; FERRAZ, A. de V.; GONÇALVES, J. L de M.; ASENSIO, V.; MURAOKA, T.; DIAS, C.T. dos S.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPARA, G. F.; ABREU-JUNIOR, C. H. Long-term effects of residual sewage sludge application in tropical soils under *Eucalyptus* plantations. **Journal of Cleaner Production**, v. 220, p 177-187, 2019.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 195-205, 2008.

GONÇALVES, J. L. D. M., VAZ, L. M. S., AMARAL, T. M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: II. Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 179-195.

GRAVE, R. A.; DA SILVEIRA NICOLOSO, R.; CASSOL, P. C.; AITA, C.; CORRÊA, J. C.; DALLA COSTA, M.; FRITZ, D. D. Short-term carbon dioxide emission under contrasting soil disturbance levels and organic amendments. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 184-192, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.010.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A. de; POGGIANI, F.; MATTIZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 267-280, 2006.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre Latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUEDES, M. C. **Efeito do lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque,em plantação de eucalipto**. 2000. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 188-201, 2003.

GUIDI, W.; PITRE, F. E.; LABRECQUE, M. Short-rotation coppice of willows for the production of biomass in eastern Canada. In: MATOVIC, M. D. **Biomass now-sustainable growth and use**. Rijeka: InTech, 2013. p. 421-447.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 189-215.

HAN; S. H.; KIM; D. H.; ULTRA JR; V. U.; KIM; P.; AGGANGAN; N. S. Physiological response of Cd-and Pb-treated *Populus alba* x *glandulosa* seedlings amended with SCB liquid fertilizer. **Asia Life Sciences**, v. 21, n. 2, p. 481-498, 2012.

HENRY, C. L.; COLE, D. W.; HARRISON, R. B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, v. 66, n. 1-3, p. 137-149, 1994.

HOLM, B.; HEINSOO, K. Biogas digestate suitability for the fertilisation of young Salix plants. **Baltic Forestry**, v. 20, n. 2, p. 263-271, 2014.

HUE, N. V. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J. **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers. 1995. p. 199-247.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017 = Report 2017**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Ibá em números**. São Paulo, [2019]. Disponível em: <https://iba.org/dados-estatisticos>. Acesso em: 8 abr. 2019.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Instrução Normativa 105.006**. Estabelecer as características dos empreendimentos, critérios - inclusive locacionais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas para o Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Suinocultura. 23 de junho de 2009. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105_006_SUINOS_VERSAO23JUN2009.pdf>. Acessado em 4 jul. 2020.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Instrução Normativa 105.006**. Estabelecer as características dos empreendimentos, critérios - inclusive locacionais e técnicos, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas para o Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Suinocultura. 15 de setembro de 2004. Disponível em: < http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/ Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105006_2004.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2019.

IMA. Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa nº 11**: Suinocultura, de 21 fev. 2009. 37 p. Disponível em: <http://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/instrucoes-normativas>. Acesso em: 1 mar. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Esgoto**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>. Acesso em: 3 maio 2019.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014**: synthesis report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

ITAIPU BINACIONAL. **Relatório anual Itaipu Binacional 2017**. 141 p. Disponível em: < https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/u26/RELATORIO%20ITAIPU%202017_27abril.pdf >. Acesso em: 1 mar. 2019.

KING, J. K. K.; GRANJOU, C.; FOURNIL, J.; CECILLON, L. Soil sciences and the French 4 per 1000 Initiative: the promises of underground carbon. **Energy Research & Social Science**, v. 45, p. 144-152, 2018. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.024.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. D. de. Utilização de resíduos urbanos e agroflorestais para produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Mimosa scabrella*. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 530-537, 2013.

LAFLEUR, B.; THIFFAULT, E.; PARÉ, D.; CAMIRÉ, C.; BERNIER-CARDOU, M.; MASSE, S. Effects of hog manure application on the nutrition and growth of hybrid poplar (*Populus* spp.) and on soil solution chemistry in short-rotation woody crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 155, p. 95-104, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.002.

LIRA, A. C. S. de; GUEDES, M. C.; SCHALCH, W. Reciclagem de lodo de esgoto em plantações: C e N. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 207-2016, 2008.

LOURENÇO, R. S.; ANJOS, A. R. M. dos; MEDRADO, M. J. S.; LIBARDI, P. L. Efeito da aplicação do lodo de esgoto nos teores solúveis e totais de elementos do solo sob sistema de produção de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 38, p. 39-65, 1999.

LOURENÇO, R. S. Curvas de neutralização de solo com lama de cal comparada com $CaCO_3$, p.a. e calcário. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 35, p. 49-57, 1997.

LTEIF, A.; WHALEN, J. K.; BRADLEY, R. L.; CAMIRÉ, C. Mixtures of papermill biosolids and pig slurry improve soil quality and growth of hybrid poplar. **Soil Use and Management**, v. 23, n. 4, p. 393-403, 2007. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00103.x .

LUTH, R. P.; GERMAIN, P.; LECOMTE, M.; LANDRAIN, B.; LI, Y.; CLUZEAU, D. Earthworm effects on gaseous emissions during vermifiltration of pig fresh slurry. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 3679-3686, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.027.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; ANDRADE, G. de C. **Caracterização físico-química de solos da região dos Campos Gerais, Paraná, submetidos à aplicação de lama de cal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 30 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 217). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898076>.

MAEDA, S.; BOGNOLA; I. A.; GOMES, J. B. V.; AUER, C. G.; MAROS, D. **Avaliação do efeito do lodo celulósico gerado em ETE oriundo de reciclagem de papel combinado com aplicação de calcário no crescimento de plantas de *Eucalyptus dunnii* e em características químicas do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. Relatório de pesquisa. Não publicado.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; GOMES, J. B. V.; HENNING, G. V. **Aplicação de cinza de madeira e lama de cal no desenvolvimento do eucalipto e em características químicas do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. Relatório de pesquisa. Não publicado.

MAEDA, S.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A. **Crescimento de *Eucalyptus benthamii* submetido à aplicação de lama de cal e cinza de madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 9 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 373). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1043484>.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 169-177, 2013.

MAEDA, S.; SILVA, H. D. da; DEDECEK, R. A.; COSTA, E. R. de O. **Resultados de pesquisa com lodo gerado na estação de tratamentos de efluentes de aparas de papel como insumo florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 2013). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/976691>.

MAIO, M. M.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; PATES, F. B. de S.; RODRIGUES, M. N.; SILVA, H. P da; DIAS, A. N.; FREITAS, C. E. S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6. p. 823-830, 2011.

MARIA, I. C. de; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007.

MARRON, N. Agronomic and environmental effects of land application of residues in short-rotation tree plantations: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 378-400, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.07.025.

MEDEIROS, T. L.; REZENDE, A. V.; VIEIRA, P. F.; CUNHA NETO, F. R.; VALERIANO, A. R.; CASALI, A. O.; GASTALDELLO JUNIOR, A. L. Produção e qualidade da forragem de capim marandu fertirrigada com dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 309-318, 2007.

MEEINKUIRT, W.; KRUATRACHUE, M.; PICHTEL, J.; PHUSANTISAMPAN, T.; SAENGWILAI, P. Influence of organic amendments on phytostabilization of Cd-contaminated soil by *Eucalyptus camaldulensis*. **Science Asia**, v. 42, n. 2, p. 83-91, 2016. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2016.42.08.

MELO, V. P. de; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M. de; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. de. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1. p. 67-62, 2004.

MENEZES, J. F. S.; ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; KONZEN, E. A. PIMENTA, F. F. **Utilização de resíduos orgânicos na agricultura**. Ribeirão Preto: AGRISHOW, 2002. Palestra. Disponível em: http://www.planetaorganico.com.br/trabJune.htm. Acesso em: 14 jan. 2009.

MIRANDA, C. R. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: SEGANFREDO, M. A. (ed.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 14-36.

MIRANDA, C. R. de; ZARDO, A. O.; GOSMANN, H. A. **Uso de dejetos de suínos na agricultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999. 2 p. (Embrapa Suínos e Aves, Instrução técnica para o produtor, 11). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/436817>. Acesso em: 15 fev. 2019.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. **Dejeto líquido de suíno como fertilizante orgânico**: método simplificado. Londrina: Iapar, 2015. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/banner%20pequeno/dejeto_suinoa.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2018.

MORO, L. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais** [...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 155-166.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná, 2017.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 163-178.

RIBEIRO, E. P.; MAGALHÃES, J. L.; RODRIGUES, A. A.; RODRIGUES, D. A.; FRAZÃO, M. A.; RODRIGUES, C. L. Análise inicial do super clone de eucalipto adubado com lodo de efluente suíno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 399-407, 2015. DOI: 10.4336/2015. pfb.35.84.913.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. de M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 623-639, 2004.

SANTANA, D. L. de Q.; BELLOTE, A. F. J.; RODRIGUES, C. M. Efeito da aplicação de resíduos nas propriedades biológicas do solo em sítios florestais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **A busca das raízes**: Anais [...]. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Critérios para escolha de eucaliptos para plantio. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 1-138. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933>.

SANTOS FILHO, A.; TOURINHO, L. C. do N. Caracterização analítica de lodos e interpretações para fins agrícolas e florestais: 1 propriedades físicas e químicas. **Revista Floresta**, v. 12 n. 1, p. 44-48, 1981a.

SANTOS FILHO, A.; TOURINHO, L. C. do N. Caracterização analítica de lodos e interpretações para fins agrícolas e florestais: 2. composição química total. **Revista Floresta**, v. 12 n. 2, p. 28-35, 1981b.

SARDÁ, L. G.; HIGARASHI, M. M.; MULLER, S.; DE OLIVEIRA, P. A. V.; COMIN, J. J. Redução de emissão de CO_2, CH_4 e H_2S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27940/1/LUANA-SARDA.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2019.

SAVIOTTI, B.; DIAS, C. P.; COSER, F.; LEITÃO, F.; OLIVEIRA, P. A. V. de. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília, DF, 2016. 44 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/suinocultura-abc/publicacoes-de-suinocultura/levantamento-de-tecnologias-de-tratamento-de-dejetos-para-suinocultura-de-pequeno-porte.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2019.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; DIAS, L. X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense. **Agropecuária Catarinense**, v. 8, p. 35-39, 1995.

SCHERER, E. E.; SPAGNOLLO, E.; BALDISSERA, I. T. Atributos químicos do solo e resposta de plantas forrageiras à aplicação de esterco líquido de suínos por longo período em sistema de plantio direto. **Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. 2, p. 78-83, 2015.

SEGANFREDO, M. A. Uso de dejetos suínos como fertilizante e seus riscos ambientais. In: _____. (ed.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 150-175.

SILVA, F. A. de M.; NUNES, G. M.; ZANOS, J. A.; GUERRINI, I. A.; SILVA, R. B. da. Resíduo agroindustrial e lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 827-828, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509832101.

SILVA, F. R. da. **Cinza de biomassa florestal**: efeito nos atributos de solos ácidos e na cultura do eucalipto. 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SILVA, P. H. M. da; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; MOREIRA, R. M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Sciencia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 79-88, 2008a.

SILVA, P. H. M. da; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 845-854, 2008b. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500009.

SILVA, P. H. M. da; POGGIANI, F.; LACLAU, J. P. Applying sewage sludge to *Eucalyptus grandis* plantations: effects on biomass production and nutrient cycling through litterfall. **Applied and Environmental Soil Science**, V. 2011, Id 710614, 2011. DOI: https://doi.org/10.1155/2011/710614.

SIMONETE, M. A.; CHAVES, D. M.; TEIXEIRA, C. F. A.; MORO, L.; NEVES, C. U. Fornecimento de cálcio para as plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1343-1351, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500023.

SMITH, P.; LUTFALLA, S.; RILEY, W. J.; TORN, M. S.; SCHMIDT, M. W. I.; SOUSSANA, J. F. The changing faces of soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 23-30, 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/ejss.12500

SOARES, M. T. S.; FROUFE, L. C. M. Estimativa de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais por meio da produção e decomposição de serapilheira. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 155-170.

SOARES, M. T. S.; MAEDA, S.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. D. C.; BOGNOLA, I. A.; FASSINA, S. H. Desenvolvimento inicial de eucalipto submetido à fertilização química e aplicação de dejetos líquidos de suínos. In: Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOARES, M. T. S.; MAEDA, S.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. C.; GOMES, J. B. V.; FASSINA, S. H. Resposta inicial do eucalipto após aplicação de dejetos líquidos de suínos no oeste do Paraná. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 6., 2019, Florianópolis. **Anais** [...]. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 4 p.

SOARES, M. T. S.; MELFI, A. J.; GONÇALVES, J. L. M.; CAVAGLIERI, V. S.; TEIXEIRA, C. M.; FEIGHL, B. Variação dos teores de fósforo e potássio em um solo sob cultivo mínimo e outro degradado após aplicação de biossólido e plantio de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Solo**: alicerce dos sistemas de produção: **Anais** [...]. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Estadual Paulista, 2003.

SOARES, M. T. S. **Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio, e alterações da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não-degradado fertilizados com biossólido e florestados com *E. grandis***. 2003 161 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

SOUZA, Z. M. de; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; NELO, W. J. de. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 117-123, 2005.

STAPE, J. L.; BALLONI, E. A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumo na produção florestal. **IPEF**, n. 40, p. 33-37, 1988.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. M. The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012.

STAPE, J. L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *E. grandis*, em areias quartzosas, através da fertilização de manutenção. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Florestas e meio ambiente**: conservação e produção, patrimônio social. São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p. 386-390.

TEDESCO, M. J.; ZANOTTO, D. L. Utilização de resíduo alcalino da indústria de celulose na correção da acidez do solo. **Agronomia Sulriograndense**, v. 14, n. 2, p. 329-336, 1978.

TEIXEIRA, C. M.; FEIGHL, B.; SOARES, M. T. S.; CAMPOS, L. A.; GONÇALVES, J. L. M. Microbial biomass gradient in a soil treated with biosolid under *Eucalyptus grandis*. In: NATIONAL AND INTERNATIONAL SOIL SCIENCE CONGRESS, 9., 2., 2004, Cuzco. [**Proceedings**]. [S.l. : s.n.], 2004. p. 58-61.

TOLEDO, F. H. S. F. de; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A. S.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. G. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 711–716, 2015.

TRIGUEIRO, R. de M. **Efeito de "dregs e grits" nos atributos de um Neossolo Quartzarenico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

TRIGUEIRO, R. de M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 150-162, 2003.

USDA. United States Department of Agriculture. **Livestock and poultry**: world markets and trade. 2018. 28 p. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 4 mar. 2019.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamentos de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 747-758, 2002.

VEDOVATO, M.; SOARES, M. T. S.; MAEDA, S. Estimativa de nitrogênio, fósforo e potássio em dejeto líquido de suínos via densidade e matéria seca. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 6., 2019, Florianópolis. **Anais** [...].Concórdia: Sbera : Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 550-552.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000300013.

WALDEMAR, C. J.; HERRERA, J. Avaliação do potencial de utilização de dregs e do grits como corretivo da acidez e fertilizante na agricultura. In: CONGRESSO ANUAL DO ABCP, 19., 1986. São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: ABCP, 1986. p. 447-453.

WREGE, M. S.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; HOLLER, W. A. Zoneamento agroclimático do eucalipto para a região da Bacia do Paraná e em escala semidetalhada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

ZABOWSKI, D.; HENRY, C. L. Soil and foliar nitrogen after fertilizer treatment of ponderosa pine. **New Zealand Journal of Forest Science**, v. 24, p. 333-343, 1994.

13

Biochar e o eucalipto

Claudia Maria Branco de Freitas Maia
Marcela Guiotoku
Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto
Lucília Maria Parron Vargas

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O uso do biochar na silvicultura é uma proposta tecnológica que visa a captura de carbono no solo, assim como a melhoria de sua qualidade agronômica. Para contextualizar a origem desta proposta, é preciso falar sobre um tipo de solo de alta fertilidade que ocorre com grande frequência às margens de diversos rios na região Amazônica: as Terras Pretas. As Terras Pretas ou Terras Pretas de Índio são solos antropogênicos da Amazônia em diversos sítios arqueológicos de aldeias indígenas pré-colombianas, espalhadas desde Rondônia e Alto Rio Negro até as regiões mais próximas ao delta do Rio Amazonas. Além de vestígios tais como fragmentos de cerâmica e ossos, estes solos possuem uma alta fração de carbono pirogênico em sua matéria orgânica, associada a uma fertilidade muito acima daquela encontrada nos solos adjacentes (Cunha et al., 2009; Teixeira et al., 2009; Mangrich et al., 2011). O carbono pirogênico provêm de fragmentos de carvão, acumulados por longos períodos de tempo, presentes ao longo de todo o perfil do solo, muitas vezes alcançando profundidades maiores que 2 m. O estudo destes solos revelou fortes indícios de que esta fração pirogênica, quando associada à matéria orgânica humificada e aos nutrientes sistematicamente adicionados a estes solos no processo de sua formação, levaram à sustentabilidade de sua fertilidade (Lehmann, 2009; Verheijen et al., 2014). Este conhecimento conduziu à proposta de se adicionar carvão ao solo para a melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas e, simultaneamente, para o aumento das reservas de carbono em sua fração mais estável da matéria orgânica (Mangrich et al., 2011; Novotny et al., 2015). O termo biochar, ou biocarvão, foi adotado pela comunidade científica para diferenciar o carvão de uso agronômico do carvão de uso energético. Por definição, biochar é uma matriz heterogênea, rica em carbono aromático e elementos minerais presentes em suas cinzas, produzido pela pirólise de biomassa obtida por critérios sustentáveis, por meio de tecnologias limpas e sob condições controladas (European Biochar Foundation et al., 2013). Segundo a International Biochar Initiative, o biochar pode ser assim chamado quando seu propósito é o uso agropecuário ou florestal (IBI, 2015). Ademais, três importantes estratégias são fortemente recomendadas dentro do conceito do biochar: a reciclagem de resíduos orgânicos, a geração de energia renovável e a agricultura de baixa emissão de carbono (Figura 1). Neste contexto, a biomassa florestal e seus resíduos (tanto os gerados na colheita, como os gerados por sua indústria), apresentam grande potencial como matéria-prima para a produção de biochar. Espécies florestais de rápido crescimento, especialmente o eucalipto, são ainda mais promissoras quanto a este potencial e, não por acaso, esta é a espécie florestal mais estudada para fins de produção de biochar. No Brasil não existe legislação específica que regulamente a produção ou classifique a qualidade de biochar. O carvão de uso agrícola hoje pode ser registrado como um material condicionador de solo e está sujeito às normas que regulamentam o uso destes materiais. Neste capítulo,

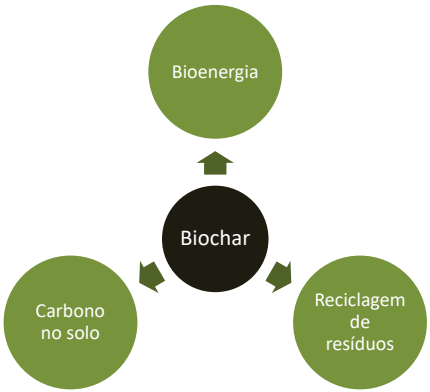


Figura 1. Estratégias recomendadas para a produção e uso de biochar.

são apresentados os principais enfoques e resultados alcançados na pesquisa sobre biochar envolvendo espécies de eucaliptos, com destaque para as pesquisas neste tema realizadas pela Embrapa e seus parceiros.

O eucalipto como matéria-prima para a produção de biochar

Uma grande variedade de biomassas e opções tecnológicas de pirólise podem ser usadas na produção de biochar e a sua qualidade depende destas opções. Para a produção de biochar, é imprescindível conhecer a composição química da matéria-prima (teores de celulose e hemicelulose, lignina, cinzas e extrativos), uma vez que a dinâmica de degradação térmica depende desta composição. Considera-se que biomassas ricas em lignina produzem um carvão de melhor qualidade e com maior poder calorífico (Demirbas, 2002). Além disto, quanto maior o teor de lignina, maior o rendimento em sólido após a pirólise (Laird et al., 2010; Lee et al., 2013). Por outro lado, biomassas mais ricas em celulose pirolisam mais rapidamente do que as demais (Gani; Naruse, 2007). Em espécies de eucaliptos, o teor de lignina varia com a idade da planta, altura do tronco, qualidade de sítio, tipo de clima no local de plantio e com a espécie estudada. A Tabela 1 mostra a composição química da madeira de diferentes espécies ou clones estudados pela Embrapa. Os percentuais de lignina variam desde 20,2% (como ocorre em *Eucalyptus smithii*) a 31,7% (*E. alba*), com média de 26%. A média da relação holocelulose/lignina nos eucaliptos está em torno de três. A madeira das árvores, em geral, é composta de celulose, lignina e hemicelulose em proporções aproximadas de 2:1:1, e a madeira dos eucaliptos está dentro destas proporções (Tullus et al., 2010).

Tabela 1. Teores (%) de extrativos, lignina e holocelulose da madeira de eucaliptos (*Eucalyptus* spp.).

Espécie	Extrativos %	Lignina %	Holocelulose %	Referência
E. badjensis	4,7	23,9	71,4	Pereira et al. (2003)
E. paniculata	4,9	23,7	71,3	Pereira et al. (2003)
E. robusta	6,7	28,5	64,8	Pereira et al. (2003)
E. smithii	3,9	20,2	75,9	Pereira et al. (2003)
E. viminalis	6,1	23,7	70,2	Pereira et al. (2003)
E. grandis x *E. urophylla* híbrido	5,1	27,2	67,7	Pereira et al. (2003)
E. benthamii	3,2	25,2	71,6	Pereira et al. (2001)
E. dunnii	1,0(5)	22,3(4)	76,7(5)	Pereira et al. (2000)
E. alba	ND(1)	31,7(2)	ND	Pereira et al. (2000)
E. botryoides	ND	28,1(2)	ND	Pereira et al. (2000)
E. camaldulensis var. *obtusa*	ND	30,1(3)	ND	Pereira et al. (2000)
E. citriodora	ND	22,4	ND	Pereira et al. (2000)
E. cloeziana	ND	28,2(2)	ND	Pereira et al. (2000)
E. dalrympleana spp. *dalrympleana*	ND	25,9	ND	Pereira et al. (2000)
E. deanei	ND	26,7(3)	ND	Pereira et al. (2000)
E. denticulata	ND	25,0	ND	Pereira et al. (2000)
E. dunni	ND	24,7(5)	ND	Alho (2012)
E. fastigata	ND	26,1(4)	ND	Pereira et al. (2000)
E. globulus spp. *bicostata*	ND	23,5(4)	ND	Pereira et al. (2000)
E. grandis	ND	25,2(4)	ND	Pereira et al. (2000)
E. maculata	ND	23,3	ND	Pereira et al. (2000)
E. microcorys	ND	24,4	ND	Pereira et al. (2000)
E. nitens	ND	24,3(6)	ND	Pereira et al. (2000)
E. nova-anglica	ND	26,0	ND	Pereira et al. (2000)
E. obliqua	ND	26,4	ND	Pereira et al. (2000)
E. pellita	ND	30,6(5)	ND	Pereira et al. (2000)
E. pilularis	ND	25,2	ND	Pereira et al. (2000)
E. propinqua	ND	29,7(2)	ND	Pereira et al. (2000)
E. regnans	ND	23,7	ND	Pereira et al. (2000)
E. saligna	ND	25,9	ND	Pereira et al. (2000)
E. seeana	ND	27,6(2)	ND	Pereira et al. (2000)
E. tereticornis	ND	30,4	ND	Pereira et al. (2000)
E. urophylla	ND	27,3	ND	Pereira et al. (2000)
E. urophylla	ND	24,3	ND	Alho (2012)
E. viminalis	ND	24,9(7)	ND	Pereira et al. (2000)

(1)ND não determinado; (2)média de 2 registros; (3)média de 6 registros; (4)média de 4 registros; (5)média de 3 registros; (6)média de 7 registros; (7)média de 11 registros.

O biochar é obtido do tratamento térmico da biomassa, na maioria das vezes via pirólise. A pirólise envolve o tratamento da biomassa sob temperaturas que variam de 300 °C a 900 °C, sob atmosfera com baixa concentração de oxigênio. A primeira etapa da pirólise envolve a secagem e, em seguida, ocorre a remoção progressiva dos voláteis pirolíticos (Neves et al., 2011). Com o aumento da temperatura ao longo da pirólise, os componentes da madeira passam por um processo de decomposição, sendo que as hemiceluloses se degradam entre 200 °C e 260 °C, as celuloses entre 240 °C e 350 °C e a lignina entre 280 °C e 500 °C. Em torno de 500 °C ocorre a etapa de pirólise primária e a degradação destes componentes está praticamente completa (Neves et al., 2011). Acima de 500 °C, a pirólise secundária começa a predominar com a quebra (cracking) dos produtos pirolenhosos gerados na primeira etapa, havendo uma perda considerável de oxigênio elementar, principalmente via óxidos de carbono (CO e CO_2) e um aumento nas reações que levam à condensação do carbono e sua aromatização. Assim, para a obtenção de biochar, a definição da temperatura de pirólise é de extrema importância para a qualidade do produto final, uma vez que, sob temperaturas mais baixas, o biochar apresentará características químicas muito diferentes daquele obtido sob temperaturas acima de 500 °C. Esse fato pode ser ilustrado na Figura 2, onde são mostradas curvas de análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (DTA) para biochars oriundos de duas espécies de eucalipto: *E. dunni* (a) e *E. urophylla* (b); pirolisados em três temperaturas diferentes 350 °C, 450 °C e 550 °C (Alho, 2012). Nestas curvas, observa-se um primeiro evento térmico correspondente à perda de água em todas as amostras. Para as amostras in natura, segue-se a degradação da hemicelulose e celulose (próximo de 350 °C) e posteriormente da lignina (acima de

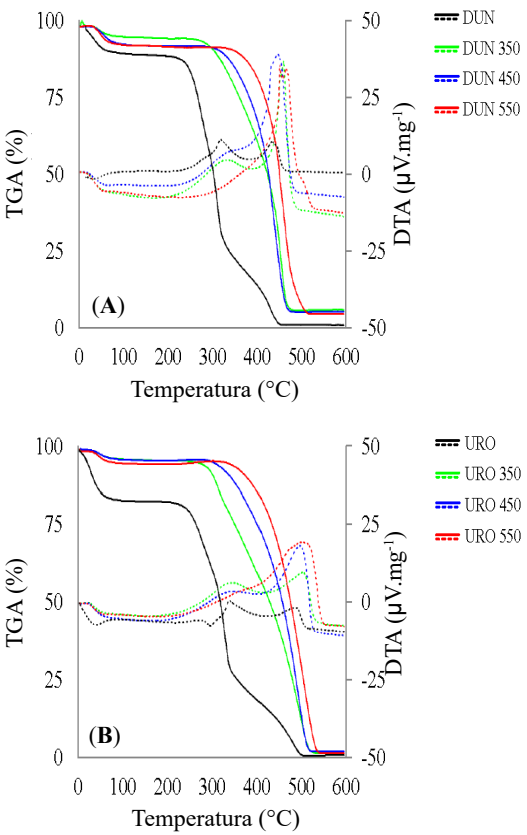


Figura 2. Curvas de análise termogravimétrica - TGA (linha cheia) e análise térmica diferencial - DTA (linha tracejada) para *Eucalyptus dunni* (A) e *Eucalyptus urophylla* (B) in natura e seus respectivos biochars produzidos a 350 °C, 450 °C e 550 °C.

400 °C). Nos materiais pirolisados sob temperaturas mais baixas (350 °C e 450 °C) ainda é possível notar a presença de grupos funcionais em alguns componentes do carvão (carboxilas, carbonilas e hidroxilas) através do "ombro" próximo sob temperatura de 350 °C nas curvas de DTA. Nos biochars de *E. dunni* e *E. urophylla* pirolisados a 550 °C, esses grupamentos não são identificados (Alho, 2012).

De modo geral, abaixo desta temperatura, o biochar carrega um maior número de funções oxigenadas em sua matriz estrutural, enquanto que, sob temperaturas mais altas, a razão O/C é menor devido à decomposição térmica destes grupos (Novotny et al., 2015). Estas características físico-químicas determinam suas funções predominantes no solo, visto que um biochar mais funcionalizado tende a mostrar maior atividade em atributos tais como a capacidade de troca iônica e sua relação com nutrientes. O biochar pouco funcionalizado, por outro lado, tende a apresentar estrutura com grupos aromáticos e policondensada, levando a um material mais ativo quanto à capacidade de adsorção, apropriado à depuração de solos poluídos. Assim, com a escolha correta das condições de pirólise, é possível obter biochars com diferentes propriedades funcionais (Masek; Brownsort, 2010). Na Tabela 2, são mostrados resultados de análise elementar de *E. dunni e E. urophylla* e suas respectivas temperaturas de pirólise.

Tabela 2. Análise elementar de biochars de *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus urophylla* sob diferentes temperaturas.

Espécie	C (%)	H (%)	N (%)	O* (%)	Referência
E. dunni 350 °C	70,61	4,37	0,09	24,93	Alho (2012)
E. dunni 450 °C	70,90	4,17	0,08	24,85	Alho (2012)
E. dunni 550 °C	78,14	2,80	0,09	18,97	Alho (2012)
E. urophylla 350 °C	67,52	4,44	0,07	27,97	Alho (2012)
E. urophylla 450 °C	75,29	3,85	0,13	20,73	Alho (2012)
E. urophylla 550 °C	81,94	3,14	0,20	14,72	Alho (2012)

*Valor obtido por diferença matemática: 0% = 100 – (C%+H%+N%).

Os valores encontrados de carbono e oxigênio elementar para os biochars pirolisados, sob diferentes temperaturas, corroboram com os dados termogravimétricos e evidenciam que a temperatura de pirólise e o tipo de matéria-prima influenciam no produto final, que terá maior ou menor concentração destes elementos na sua composição.

Existem vários trabalhos na literatura onde a pirólise de biomassa de eucalipto é estudada para produção de biochar (Kim et al., 2013; Doumer et al., 2015; Wrobel-Tobiszewska et al., 2015; Grima-Olmedo et al., 2016). Outros estudos relatam o efeito do biochar de eucalipto sobre diferentes aspectos do solo (Butnan et al., 2015; Drake

et al., 2015; Raboin et al., 2016; Zhang et al., 2016). Os resultados são, às vezes, controversos e de interpretação complexa, visto envolverem solos e processos de pirólises diferentes. A Embrapa vem atuando em diferentes aspectos na pesquisa sobre biochar de biomassa de eucaliptos, sua caracterização, efeito no solo e uso no cultivo de florestas (Carvalho et al., 2014, 2016; Peixoto et al., 2018; Silva et al., 2018). Um estudo conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, sobre o efeito da adição de biochar de eucalipto (nas doses 8 Mg, 16 Mg e 32 Mg de biochar ha^{-1}) em solo cultivado com feijoeiro (Silva et al., 2011), demonstrou que sem aplicação de N mineral: a adição de qualquer dose de biochar reduziu o teor de alumínio no solo; a dose 8 Mg de biochar ha^{-1} aumentou as concentrações de fósforo e reduziu as de cálcio, magnésio e o pH em relação às outras doses de biochar testadas e ao controle; e a dose 32 Mg de biochar ha^{-1} aumentou a produtividade do feijoeiro comum. Com aplicação de N mineral: as doses 16 Mg e 32 Mg de biochar ha^{-1} reduziram os teores de cobre no solo e com ou sem aplicação de N mineral: a adição de 32 Mg de biochar ha^{-1} aumentou as concentrações de potássio no solo.

O efeito do biochar em mudas e plantios de eucalipto

O biochar para fins florestais envolve não somente seu uso em plantios, mas também em substratos para produção de mudas florestais. Embora o uso de casca de arroz carbonizada ou torrefada em substratos para mudas seja uma prática relativamente comum e antiga, o estudo sobre o uso de carvão de outros tipos de biomassa se acentuou na última década, após o surgimento da proposta do biochar (Dumroese et al., 2011; Belda et al., 2016; Krapfl et al., 2016; Rezende et al., 2016; Barros et al., 2017; Lonardo et al., 2017; Soares et al., 2019; Zhang et al., 2019). Quando presente em substratos, o biochar parece atuar no sentido de reter nutrientes em sua matriz e proporcionar uma liberação mais equilibrada destes nutrientes para as mudas, o que levaria também a menores perdas de nutrientes do substrato por percolação ou lixiviação. Especificamente sobre o uso de biochar para a produção de mudas de eucaliptos, a Embrapa avaliou o desempenho de mudas cultivadas em substratos com doses crescentes de biochar e de biochar ativado. Neste estudo, o biochar foi preparado a partir de resíduos de serrarias do norte do Mato Grosso. A ativação consistiu na aplicação de vapor d´água sob temperaturas acima de 400 °C, na fase terminal da pirólise. Os tratamentos com 75% e 100% de biochar ativado mostraram os melhores resultados para o crescimento em altura e diâmetro do coleto (Barros et al., 2016). Outro estudo, porém, não registrou diferenças quanto à qualidade de mudas de *E. dunnii*, quando carvão foi adicionado ao substrato (Sass et al., 2018). Em outro trabalho, avaliou-se a eficiência de biochar de eucalipto como condicionador de substrato para o desenvolvimento de mudas florestais de carvoeiro (*Tachigali vulgaris*) como espécie representativa do

Cerrado (Souchie et al., 2011). Os resultados mostraram um incremento significativo na altura das mudas, número de folhas, diâmetro do coleto e na massa seca radicular e da parte aérea, assim como forte correlação positiva com as concentrações de biochar.

Na última década, estudos sobre o uso de biochar em plantios florestais têm sido mais frequentes (Gómez-Luna et al., 2009, 2012; Drake et al., 2015; Fernández-Ugalde et al., 2017; Gao et al., 2017; Lin et al., 2017; Zhang et al., 2017; Zhou et al., 2017; Ramlow et al., 2018; Zhang et al., 2019), incluindo alguns estudos sobre o uso de biochar em plantios de eucaliptos (Pereira et al., 2013; Leal et al., 2015; Farias et al., 2016; Peixoto et al., 2018; Silva et al., 2018; Woiciechowski et al., 2018). Esses estudos relatam o aumento da condutividade hidráulica e acessibilidade da água da planta, assim como o aumento da concentração de N total e da CTC.

Em parceria com uma empresa reflorestadora do Paraná, a Embrapa está estudando o efeito do uso do biochar como condicionador de solos, em plantios de eucalipto ("urograndis", híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*). O biochar produzido a partir de resíduos de eucaliptos provenientes de serraria foi aplicado em um Latossolo Vermelho-Amarelo, na região de São Jerônimo da Serra, PR, com dose única (3,2 Mg de biochar ha^{-1}), para avaliar a possibilidade de redução de adubação química, ao longo de quatro anos de plantio. Os resultados alcançados até o momento mostraram que o uso de biochar e adubação NPK em plantios de eucalipto aumentaram a atividade da enzima urease do solo, após três meses de plantio (Silva et al., 2018). A urease (ureia amido hidrolase) é a enzima que catalisa a hidrólise de ureia a NH_4^+, disponibilizando esta forma nitrogenada para a absorção pelas raízes. Além disto, observou-se a redução da densidade do solo e um aumento na porosidade total em ambas as profundidades estudadas. Foram medidas a altura e o diâmetro do coleto ou do tronco de 20 plantas por parcela, aos 3, 6, 9, 12 e 18 meses de idade. Os resultados gerados até esta idade indicaram que a aplicação somente de biochar não influenciou o crescimento das plantas em altura e diâmetro, em relação ao controle. Os dados dendrométricos foram semelhantes entre a dose de adubação comercial e a dose reduzida em 20%, bem como no caso destas doses de adubação serem aplicadas com ou sem biochar. Estes resultados preliminares indicam, aos 3 meses de idade, um potencial de se reduzir a dose comercial de adubação nas condições ambientais e de manejo existentes no experimento; sendo que o efeito do biochar nos atributos físicos e químicos do solo e no incremento do volume de madeira estão sendo avaliados a cada 12 meses de idade (Peixoto et al., 2018). Ensaios de extração de água demonstraram que, na camada superficial do solo, houve incremento na disponibilidade total de água e nas camadas de maior profundidade houve aumento da macroporosidade e redução da microporosidade. A dose de biochar aplicada neste estudo aumentou a disponibilidade de água do solo (Fogaça et al., 2019). Outro estudo sobre a biologia do solo no mesmo plantio demonstrou que o biochar, produzido por pirólise lenta, a partir de resíduos da madeira de eucalipto, não provocou a fuga de minhocas onde o mesmo foi aplicado no solo,

nem provocou a mortalidade de *Eisenia andrei,* espécie usada como indicadora em estudos ecotoxicológicos (Nicola et al., 2018).

Necessidades de pesquisa e tendências futuras

O contexto das mudanças climáticas

A expansão da agricultura intensiva está associada ao aumento de emissões de gases de efeito estufa (GEE) como CO_2, N_2O e CH_4. A maioria dos solos agrícolas perdeu uma grande parte de sua capacidade de armazenamento de carbono orgânico no solo, tornando-se fonte de GEE (Woolf et al., 2010). No Relatório-Síntese publicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em novembro de 2014, seus representantes sugeriram que, para "manter o aquecimento abaixo de 2 °C com custos gerenciáveis", as emissões de GEE deveriam cair entre 40% a 70% globalmente entre 2010 e 2050, e cair para zero ou abaixo disto até 2100". Este Relatório apontava ainda que os custos de mitigação seriam tão baixos que "o crescimento econômico global não seria fortemente afetado por eles" (Anderson, 2015). Além das medidas óbvias envolvendo a eliminação de emissões da matriz energética global, a adoção das chamadas tecnologias de emissão negativa (Negative Emission Technologies (NET)) aumentariam efetivamente a chance de sucesso para atingir tal limite de 2 °C, em 344 dos 400 cenários existentes na base de dados do IPCC (Anderson, 2015). Assim, as NET estariam no centro dos debates sobre onde investir em ciência e tecnologia, a fim de se atingir os objetivos recomendados pelo IPCC. Boa parte das tecnologias propostas na literatura, como a de "emissão-negativa", se encontra em fase de estudos preliminares e longe de serem adotadas de modo efetivo e seguro em suas atuais fases de pesquisa e desenvolvimento, o que inclui certamente o biochar (Fuss et al., 2018; Minx et al., 2018; Nemet et al., 2018). Portanto, uma agenda de pesquisa dirigida para responder questões ainda abertas quanto ao uso seguro do biochar e quanto à finalização de produtos à base de biochar é imprescindível para viabilizar sua adoção como tecnologia de emissão negativa.

A aplicação do biochar como prática conservacionista e para melhoria da qualidade do solo

A aplicação de biochar é uma prática eficiente de conservação do solo. Além de atuar no aumento da fertilidade do solo e da sua capacidade produtiva, resultando no aumento da produtividade das culturas (Liu et al., 2013), essa prática é eficiente na provisão de serviços ecossistêmicos, como aumento do estoque de carbono no solo,

da retenção de água e nutrientes no solo e da fauna edáfica e também na ciclagem de nutrientes e no sequestro de GEE. A aplicação do biochar impacta positivamente na fertilidade do solo por meio do seu efeito na CTC (Souza et al., 2016). O aumento da CTC é atribuído à existência de grupos carboxílicos na superfície do biochar, e também aos grupos carboxílicos expostos de ácidos orgânicos adsorvidos pelo biochar, sendo que ambos contribuem para a carga de superfície do biochar (Liang et al., 2006). Estudos demonstraram que o biochar tem o potencial de melhorar a biodisponibilidade do fósforo na superfície de solos arenosos (Gao; DeLuca, 2018). Além disso, o biochar pode efetivamente adsorver amônia (NH_3), reduzindo sua perda por volatilização (Liu et al., 2017). Embora o biochar tenha uma disponibilidade limitada de nutrientes, a sua alta capacidade de adsorção permite a retenção de nutrientes na zona de enraizamento, aumentando a eficiência de fertilizantes, reduzindo a lixiviação de nutrientes e o escoamento superficial (Li et al., 2019). A alta porosidade do biochar também melhora a qualidade física do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica (Laird et al., 2010; Li et al., 2019). Devido à sua alta porosidade, área superficial e abundância de grupos funcionais, o biochar tem sido avaliado como um material promissor para adsorção e redução da biodisponibilidade de pesticidas em solos poluídos (Liu et al., 2018). É esperado que a melhoria da estrutura e da estabilidade do solo, que ocorre com a aplicação do biochar, resulte na redução da frequência e da magnitude da perda de solo ocasionada por processos erosivos. Todavia, o impacto da aplicação do biochar na magnitude da erosão do solo não está muito claro e requer pesquisas sobre formas de aplicação e de incorporação do biochar ao solo, assim como dos mecanismos envolvidos na retenção de nutrientes.

Questões a serem respondidas na pesquisa do biochar

Entre as questões abertas, destacam-se algumas mais prementes:

• Padronização de métodos analíticos e materiais de referência

Um dos desafios encontrados na pesquisa do biochar ou mais especificamente do carbono pirogênico é estabelecer um método simples, barato e preciso para a sua quantificação. O carbono recalcitrante ou não oxidável é uma parte da matéria orgânica fortemente associada ao carbono estável do solo. Na matéria orgânica originada da decomposição e humificação dos detritos orgânicos – vegetais ou animais – depositados no solo, além dos componentes prontamente reciclável ou oxidável, de função primordial na reciclagem de nutrientes e como fonte de energia para a vida microbiana do solo, encontra-se também um componente muito estável e de longa permanência no solo, associado às substâncias húmicas estabilizadas. A longa permanência no solo

destas estruturas ocorre por estarem fortemente protegidas dos agentes intempéricos, ou por serem de natureza química pouco reativa à degradação. Nesta parte da MOS, podem ser encontradas estruturas poliaromáticas ou de hidrocarbonetos de cadeia longa derivadas de ácidos graxos, pouco funcionalizadas e de baixas razões H/C e O/C. As estruturas poliaromáticas podem ser oriundas de processos de humificação de polímeros naturais como as ligninas e polifenóis naturais diversos. Mas estas estruturas podem ser originadas, também, pelo aporte de carbono pirogênico, durante eventos de queimadas ou pela adição de carvão no solo. Os métodos hoje disponíveis para a quantificação desta fração não conseguem distinguir sua origem. Assim, na pesquisa do biochar, ao se quantificar o C total e, por diferença, extraído o C oxidável, não é possível saber que parte vem do biochar e que parte vem da matéria orgânica humificada. Por esta razão, estudos sobre a degradação do biochar, ao longo do tempo, são complexos e exigem muitas vezes técnicas analíticas combinadas para acompanhar seu ciclo de vida no solo (Glaser et al., 1998; Novotny et al., 2015; Chang et al., 2018). Assim, para viabilizar e acelerar as pesquisas sobre o uso do biochar, é necessário o desenvolvimento de métodos analíticos mais simples e precisos.

• Programa de controle de qualidade analítica e materiais de referência

Os métodos analíticos adotados pela comunidade científica ao longo de duas décadas de pesquisa sobre biochar vêm sendo cada vez mais modificados, aprimorados e especializados. No início do milênio, os métodos foram adaptados daqueles recomendados para a análise de carvão energético, de carvão arqueológico ou da matéria orgânica de solos. Atualmente, já se dispõe de literatura crítica e revisada baseada nas experiências e, principalmente, nas dificuldades encontradas nos procedimentos analíticos adotados pelos diferentes grupos de pesquisa (European Biochar Foundation et al., 2013; IBI, 2015; Singh et al., 2017). Além da padronização de métodos recomendados, programas de controle de qualidade analítica vêm sendo implementados visando testar e recomendar procedimentos e protocolos analíticos que permitam a comparação e confiabilidade de resultados. Em estudo analítico interlaboratorial com esta abordagem, foi reconhecido que, entre 38 atributos, somente pH e C apresentaram desempenho aceitável (Bachmann et al., 2016). A variabilidade dos demais atributos foi tão grande que ficou demonstrado a urgência de programas interlaboratoriais e padronização de procedimentos.

Para o sucesso de um programa analítico interlaboratorial, é necessário eleger alguns materiais de referência a serem usados como amostras-controle. Neste aspecto, a madeira de eucalipto se apresenta como um dos mais adequados, não somente pela grande quantidade de informações disponíveis na literatura sobre este material, mas também pelo seu grande potencial (seja da biomassa florestal, seja dos resíduos de sua exploração) como matéria-prima para a produção de biochar. Além disto, plantios

de eucalipto estão presentes em praticamente todos os biomas brasileiros, tornando-o acessível em todo território nacional.

• Recomendações de critérios para produção, condições de pirólise e finalidade de uso

Para a linha de pesquisa de desenvolvimento de produtos à base de biochar é preciso estabelecer critérios de pirólise que garantam a reprodutibilidade dos materiais obtidos. Estes critérios variam com o tipo de funcionalidade que está sendo buscada no biochar. Assim, por exemplo, para obtenção de materiais mais adsorventes, a serem usados como depuradores do solo, temperatura de pirólise mais alta ou, ainda, a ativação do biochar pode ser desejável. Para um biochar mais funcionalizado, buscando-se maior interação com nutrientes, uma temperatura de pirólise mais baixa pode produzir materiais mais apropriados. Em um determinado sistema de pirólise, os principais fatores que controlam a dinâmica do processo e a qualidade do carvão produzido são a temperatura e a taxa de aquecimento adotada até a temperatura final de pirólise. Mas a atmosfera no reator também afeta o produto final. Em estudos científicos, estes parâmetros precisam ser mais rigorosamente acompanhados e mencionados nas publicações. Muitos trabalhos sobre biochar sequer descrevem o material usado e, ou o processo como foi produzido, impossibilitando a reprodutibilidade ou comparação de resultados de outros estudos.

• Critérios de qualidade: teor mínimo de carbono, cinzas e poluentes

Embora não haja recomendação específica no Brasil com respeito da qualidade mínima e do uso de biochar, esta é necessária para a regulamentação de um potencial mercado no País. Vários países e centros econômicos já possuem tais recomendações (Meyer et al., 2017) e felizmente podem servir de guia ou diretriz para a atual fase de pesquisas sobre o biochar no Brasil. Porém, como exemplo de outros produtos, estes critérios precisam ser estabelecidos para os solos e climas brasileiros.

• Recomendações de critérios de uso agronômico e florestal

Quanto ao uso agronômico do biochar, muitas questões ainda se encontram sem respostas e precisam ser esclarecidas, desde aquelas envolvendo o manuseio seguro, formas de aplicação, doses máximas seguras e frequência de aplicação, até as que envolvem o manejo, tais como métodos de incorporação no solo em sistemas convencionais ou de plantio direto. Estudos de longa duração e de acompanhamento da degradação do biochar, ao longo de vários anos, são escassos e necessários para a

maior segurança quanto ao seu efeito na matéria orgânica do solo. No caso de plantios florestais, o biochar pode ser usado desde a produção de mudas até o plantio propriamente dito, e muito há ainda para ser desenvolvido quanto ao uso em povoamentos puros ou em sistemas integrados. Estudos incluindo avaliação econômica e ciclo de vida do produto também são necessários para se alcançar ganhos ambientais efetivos, especialmente quanto à imobilização de carbono.

• Desenvolvimento de novos produtos: biochar enriquecido, depurativos, substratos

Finalmente, uma das linhas de pesquisa que, talvez, traga resultados mais consistentes e melhor potencial de mercado é a do desenvolvimento de novos produtos. O biochar vem sendo estudado não somente em sua forma pura, mas também como material componente de fertilizantes organominerais e, neste sentido, o biochar tem muito a contribuir para o desenvolvimento de fertilizantes com menor impacto nas emissões de GEE, menores taxas de perdas por lixiviação ou percolação de nutrientes, e que levem a uma maior sustentabilidade da fertilidade dos solos, tal como ocorre nas Terras Pretas Amazônicas.

Conclusões

Devido à sua alta eficiência e rápido crescimento, especialmente nas condições de plantio brasileiras, o eucalipto tem um papel de destaque na pesquisa do biochar. Além dos usos tradicionais, como papel, construção e movelaria, sua madeira pode ser usada com alta eficiência na geração de bioenergia, com subprodutos importantes como o biochar. A pesquisa integrada em parceria com outras Unidades da Embrapa e com Universidades tem multiplicado o volume e a abrangência de seus resultados. A Embrapa vem contribuindo de modo constante para a pesquisa sobre a caracterização da qualidade do biochar produzido e seu uso na silvicultura, mas uma discussão detalhada é necessária para estabelecer suas prioridades e as metas a serem atingidas no médio e longo prazos. Políticas públicas que incentivem a implementação do biochar como tecnologia de emissão negativa de gases de efeito estufa, bem como para melhoria da qualidade do solo, precisam estar amparadas por dados consistentes da pesquisa, o que permitiria a promoção de sua adoção pelos agricultores.

Referências

ALHO, C. F. B. V. **Efeito da temperatura final de pirólise na estabilidade de biocarvão produzido a partir de madeira de *Pinus* sp e *Eucalyptus* sp**. 2012. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ANDERSON, K. Duality in climate science. **Nature Geoscience**, v. 8, p. 898–900, 2015. DOI: https://doi.org/10.1038/ngeo2559.

BACHMANN, H. J.; BUCHELI, T. D.; DIEGUEZ-ALONSO, A.; FABBRI, D.; KNICKER, H.; SCHMIDT, H.-P.; ULBRICHT, A.; BECKER, R.; BUSCAROLI, A.; BUERGE, D.; CROSS, A.; DICKINSON, D.; ENDERS, A.; ESTEVES, V. I.; H EVANGELOU, M. W.; FELLET, G.; FRIEDRICH, K.; GASCO GUERRERO, G.; GLASER, B.; HANKE, U. M.; HANLEY, K.; HILBER, I.; KALDERIS, D.; LEIFELD, J.; MASEK, O.; MUMME, J.; PANEQUE CARMONA, M.; CALVELO PEREIRA, R.; REES, F.; ROMBOLA, A. G.; LA ROSA, M. de; SAKRABANI, R.; SOHI, S.; SOJA, G.; VALAGUSSA, M.; VERHEIJEN, F.; ZEHETNER, F. Toward the standardization of biochar analysis: the COST action TD1107 interlaboratory comparison. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 9, 2016. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05055.

BARROS, D. L.; REZENDE, F. A.; CAMPOS, A. T.; MAIA, C. M. B. F. Biochar of sawdust origin in passion fruit seedling production. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, p. 200, 2017. DOI: https://doi.org/10.5539/jas.v9n5p200.

BARROS, D. L.; REZENDE, F. A.; MAIA, C. M. B. F. Uso de biochar ativado na composição de substratos para mudas de eucalipto. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 10., 2016, Campinas. **Novos materiais, novas culturas**: caderno de resumos. Campinas: IAC, 2016.

BELDA, R. M.; LIDÓN, A.; FORNES, F. Biochars and hydrochars as substrate constituents for soilless growth of myrtle and mastic. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 132-142, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.024.

BUTNAN, S.; DEENIK, J. L.; TOOMSAN, B.; ANTAL, M. J.; VITYAKON, P. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma**, v. 237-238, p. 105-116, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2014.08.010.

CARVALHO, M. T. de M.; MAIA, A. de H. N.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L.; OORT, P. A. J. van; HEINEMANN, A. B.; SILVA, M. A. S.; PETTER, F. A.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MEINKE, H. Biochar increases plant available water in a sandy soil under an aerobic rice cropping system. **Solid Earth Journal**, v. 5, p. 939-952, 2014. DOI: https://doi.org/10.5194/sed-6-887-2014.

CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E. E.; BASTIAANS, L.; OORT, P. A. J. A. J. VAN; LEAL, W. G. O. G. O.; HEINEMANN, A. B. B.; SILVA, M. A. S. A. S. da; MAIA, A. H. N. H. N.; PARSONS, D.; MEINKE, H. Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5 years after biochar application and the impact on rice yield. **Geoderma**, v. 276, p. 7-18, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.04.013.

CHANG, Z.; TIAN, L.; LI, F.; ZHOU, Y.; WU, M.; STEINBERG, C. E. W.; DONG, X.; PAN, B.; XING, B. Benzene polycarboxylic acid: a useful marker for condensed organic matter, but not for only pyrogenic black carbon. **Science of The Total Environment**, v. 626, p. 660-667, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.145.

CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MADARI, B. E.; REZENDE, M. O. D. O.; CANELAS, L. P.; BENITES, V. M. Spectroscopy characterization of humic acids isolated from Amazonian Dark Earth Soils (Terra Preta De Índio). In: WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian dark earths**: wim sombroek's vision. Dordrecht: Springer, 2009. p. 363-372.

DEMIRBAS, A. Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. **Energy Exploration & Explotation**, v. 20, p. 105-111, 2002.

DOUMER, M. E.; ARÍZAGA, G. G. C.; SILVA, D. A. da; YAMAMOTO, C. I.; NOVOTNY, E. H.; SANTOS, J. M.; SANTOS, L. O. dos; WISNIEWSKI, A.; ANDRADE, J. B. de; MANGRICH, A. S. Slow pyrolysis of different Brazilian waste biomasses as sources of soil conditioners and energy, and for environmental protection. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 113, p. 434-443, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.03.006.

DRAKE, J. A.; CARRUCAN, A.; JACKSON, W. R.; CAVAGNARO, T. R.; PATTI, A. F. Biochar application during reforestation alters species present and soil chemistry. **Science of The Total Environment**, v. 514, p. 359-365, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.012.

DUMROESE, R. K.; HEISKANEN, J.; ENGLUND, K.; TERVAHAUTA, A. Pelleted biochar: chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2018-2027, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.053.

EUROPEAN BIOCHAR FOUNDATION. **European biochar certificate**: guidelines for a sustainable production of biochar. Disponível em: <www.european-biochar.org/en/download>. Holland, [2013]. Acesso em: 2 abr. 2015.

FARIAS, J. de; MARIMON, B. S.; SILVA, L. C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Survival and growth of native Tachigali vulgaris and exotic *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022.

FERNÁNDEZ-UGALDE, O.; GARTZIA-BENGOETXEA, N.; AROSTEGI, J.; MORAGUES, L.; ARIAS-GONZÁLEZ, A. Storage and stability of biochar-derived carbon and total organic carbon in relation to minerals in an acid forest soil of the Spanish Atlantic area. **Science of The Total Environment**, v. 587–588, p. 204-213, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.02.121.

FOGAÇA, A. M.; BARBOSA, E. A. A.; GIAROLA, N. F. B.; PEIXOTO, R. T. G.; MAIA, C. M. B. F. Influência do biochar na disponibilidade de água de um latossolo. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2019, Ponta Grossa. **Trabalhos** [...]. Ponta Grossa: UEPG; [Curitiba]: SBCS, Núcleo Estadual Paraná, 2019. 4 p.

FUSS, S.; LAMB, W. F.; CALLAGHAN, M. W.; HILAIRE, J.; CREUTZIG, F.; AMANN, T.; BERINGER, T.; GARCIA, W. O.; HARTMANN, J.; KHANNA, T.; LUDERER, G.; NEMET, G. F.; ROGELJ, J.; SMITH, P.; VICENTE, J. L. V.; WILCOX, J.; DOMINGUEZ, M. del M. Z.; MINX, J. C. Negative emissions: Part 2 : costs , potentials and side effects. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 1-48, 2018.

GANI, A.; NARUSE, I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. **Renewable Energy**, v. 32, p. 649-661, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.02.017.

GAO, S.; DELUCA, T. H. Wood biochar impacts soil phosphorus dynamics and microbial communities in organically-managed croplands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 126, p. 144-150, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.002.

GAO, X.; DRIVER, L. E.; KASIN, I.; MASIELLO, C. A.; PYLE, L. A.; DUGAN, B.; OHLSON, M. Effect of environmental exposure on charcoal density and porosity in a boreal forest. **Science of The Total Environment**, v. 592, p. 316-325, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.03.073.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. **Organic Geochemistry**, v. 29, p. 811-819, 1998. DOI: https://doi.org/10.1016/S0146-6380(98)00194-6.

GÓMEZ-LUNA, B. E.; RIVERA-MOSQUEDA, M. C.; DENDOOVEN, L.; VÁZQUEZ-MARRUFO, G.; OLALDE-PORTUGAL, V. Charcoal production at kiln sites affects C and N dynamics and associated soil microorganisms in Quercus spp. temperate forests of central Mexico. **Applied Soil Ecology**, v. 41, p. 50-58, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2008.08.007.

GÓMEZ-LUNA, B. E.; RUIZ-AGUILAR, G. M. de la L.; VÁZQUEZ-MARRUFO, G.; DENDOOVEN, L.; OLALDE-PORTUGAL, V. Enzyme activities and metabolic profiles of soil microorganisms at KILN sites in Quercus spp. temperate forests of central Mexico. **Applied Soil Ecology**, v. 52, p. 48-55, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2011.10.010.

GRIMA-OLMEDO, C.; RAMÍREZ-GÓMEZ, Á.; GÓMEZ-LIMÓN, D.; CLEMENTE-JUL, C. Activated carbon from flash pyrolysis of eucalyptus residue. **Heliyon**, v. 2, p. e00155, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00155.

IBI. International Biochar Initiative. **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soilinternational biochar initiative**. [S.l.], 2015. 23 p.

KIM, K. H.; KIM, T.-S.; LEE, S.-M.; CHOI, D.; YEO, H.; CHOI, I.-G.; CHOI, J. W. Comparison of physicochemical features of biooils and biochars produced from various woody biomasses by fast pyrolysis. **Renewable Energy**, v. 50, p. 188-195, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.030.

KRAPFL, K. J.; HATTEN, J. A.; ROBERTS, S. D.; BALDWIN, B. S.; ROUSSEAU, R. J.; SHANKLE, M. W. Capacity of biochar application and nitrogen fertilization to mitigate grass competition upon tree seedlings during stand regeneration. **Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 298-309, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.030.

LAIRD, D. A.; ROGOVSKA, N. P.; GARCIA-PEREZ, M.; COLLINS, H. P.; STREUBEL, J. D.; SMITH, M. Pyrolysis and biochar-opportunities for distributed production and soil quality enhancement. In: SUSTAINABLE alternative fuel feedstock opportunities, challenges and roadmaps for six U.S. regions. [s.l: s.n.], 2010. p. 257-281.

LEAL, O. dos A.; DICK, D. P.; LOMBARDI, K. C.; MACIEL, V. G.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; KNICKER, H. Soil chemical properties and organic matter composition of a subtropical Cambisol after charcoal fine residues incorporation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 805-815, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s11368-014-1040-z.

LEE, Y.; EUM, P. R. B.; RYU, C.; PARK, Y. K.; JUNG, J. H.; HYUN, S. Characteristics of biochar produced from slow pyrolysis of Geodae-Uksae 1. **Bioresource Technology**, v. 130, p. 345-350, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.012.

LEHMANN, J. Terra preta de indio. **Encyclopedia of Soil Science**, v. 1, p. 1-4, 2009. DOI: https://doi.org/10.1081/E-ESS-120045010.

LI, Y.; ZHANG, F.; YANG, M.; ZHANG, J.; XIE, Y. Impacts of biochar application rates and particle sizes on runoff and soil loss in small cultivated loess plots under simulated rainfall. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 1403-1413, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.415.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZA, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 1719-1730, 2006. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383.

LIN, Z.; LIU, Q.; LIU, G.; COWIE, A. L.; BEI, Q.; LIU, B.; WANG, X.; MA, J.; ZHU, J.; XIE, Z. Effects of different biochars on *Pinus elliottii* growth, N use efficiency, soil N2O and CH4 emissions and c storage in a subtropical area of China. **Pedosphere**, v. 27, p. 248–261, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60314-X.

LIU, X.; ZHANG, A.; JI, C.; JOSEPH, S.; BIAN, R.; LI, L.; PAN, G.; PAZ-FERREIRO, J. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. **Plant and Soil**, v. 373, p. 583–594, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-013-1806-x.

LIU, Y.; LONAPPAN, L.; BRAR, S. K.; YANG, S. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: a review. **Science of the Total Environment**, v. 645, p. 60–70, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.099.

LIU, Z.; HE, T.; CAO, T.; YANG, T.; MENG, J.; CHEN, W. Effects of biochar application on nitrogen leaching, ammonia volatilization and nitrogen use efficiency in two distinct soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, 2017. DOI: https://doi.org/10.4067/s0718-95162017005000037.

LONARDO, S. DI; BARONTI, S.; VACCARI, F. P.; ALBANESE, L.; BATTISTA, P.; MIGLIETTA, F.; BACCI, L. Biochar-based nursery substrates: the effect of peat substitution on reduced salinity. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 23, p. 27-34, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2017.02.007.

MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão: as terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v. 47, p. 48-52, 2011.

MASEK, O.; BROWNSORT, P. **Research on production of bespoke biochar**. Rothamsted, 2010. Disponível em: <http:// www.biochar.ac.uk/abstract.php?id=32>. Acesso em: 12 ago. 2103.

MEYER, S.; GENESIO, L.; VOGEL, I.; SCHMIDT, H.-P.; SOJA, G.; SOMEUS, E.; SHACKLEY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; GLASER, B. Biochar standardization and legislation harmonization. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 25, p. 175-191, 2017. DOI: https://doi.org/10.3846/16486897.2016.1254640.

MINX, J. C.; LAMB, W. F.; CALLAGHAN, M. W.; FUSS, S.; HILAIRE, J.; CREUTZIG, F.; AMANN, T.; BERINGER, T.; OLIVEIRA GARCIA, W. de; HARTMANN, J.; KHANNA, T.; LENZI, D.; LUDERER, G.; NEMET, G. F.; ROGELJ, J.; SMITH, P.; VICENTE, J. L.; WILCOX, J.; ZAMORA DOMINGUEZ, M. del. Negative emissions - Part 1: research landscape and synthesis. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 063001, 2018. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9b.

NEMET, G. F.; CALLAGHAN, M. W.; CREUTZIG, F.; FUSS, S.; HARTMANN, J.; HILAIRE, J.; LAMB, W. F.; MINX, J. C.; ROGERS, S.; SMITH, P. Negative emissions-Part 3: innovation and upscaling. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 63001, 2018. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabff4.

NEVES, D.; THUNMAN, H.; MATOS, A.; TARELHO, L.; GÓMEZ-BAREA, A. Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37, p. 611–630, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.01.001.

NICOLA, V. B.; COSTA, K. N.; SILVA, K. A.; GUIMARÃES, A. T. B.; MAIA, C. M. B. F.; OLIVEIRA, C. M. R. Biochar de eucalipto em solo natural: estudo ecotoxicológico em *Eisenia andrei*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGICO, 15., 2018, Aracaju. **Anais** [...]. Aracaju: [s.n.], 2018.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. F.; CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use: a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 321-344, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140818.

PEIXOTO, R. T. G.; VARGAS, L. M. P.; SILVA; K. da; BOGNOLA, I. A.; SANTOS, L. M. dos; MAIA, C. M. B. D. F. Aspectos dendrométricos de plantio de eucaliptos em solos com biochar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 397-400.

PEREIRA, F. B.; SANTOS, R. C.; LOMBARDI, K. C.; DIAS, A. N.; MAIA, C. M. B. F. Soil oxidizable organic carbon fractions under organic management with industrial residue of roasted mate tea. In: FUNCTIONS of natural organic matter in changing environment. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 295–299. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-5634-2_54.

PEREIRA, J. C. D.; MATTOS, P. P. de; SCHAITZA, E. G. **Características da madeira de seis espécies de eucalipto plantadas em Colombo-PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 17 p. (Embrapa Florestas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 15). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/281005>.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. **Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 4 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 50). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/313601.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 14 p. (Embrapa Florestas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 15). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/281005.

RABOIN, L.-M.; RAZAFIMAHAFALY, A. H. D.; RABENJARISOA, M. B.; RABARY, B.; DUSSERRE, J.; BECQUER, T. Improving the fertility of tropical acid soils: Liming versus biochar application? A long term comparison in the highlands of Madagascar. **Field Crops Research**, v. 199, p. 99-108, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/J.FCR.2016.09.005.

RAMLOW, M.; RHOADES, C. C.; COTRUFO, M. F. Promoting revegetation and soil carbon sequestration on decommissioned forest roads in Colorado, USA: a comparative assessment of organic soil amendments. **Forest Ecology and Management**, v. 427, p. 230-241, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.059.

REZENDE, F. A.; ALEXANDRE, V.; FERREIRA, H.; SANTOS, V. A. H. F. dos; MAIA, C. M. B. de F.; MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1449-1456, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900043.

SASS, A. L.; SANTOS, D. E. C. dos; MAEDA, S.; MAIA, C. M. B. de F. Efeito de carvão vegetal em substratos para a produção de mudas de eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 55-59.

SILVA, K.; BOGNOLA, I. A.; PEIXOTO, R. T. G.; SANTOS, L. M.; VARGAS, L. M. P.; MAIA, C. M. B. F. Atividade da urease em plantio de eucalipto com aplicação de biochar. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p.

SILVA, M. A. S. da; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; BERNARDES, T. G.; SOUZA, R. de O.; OLIVEIRA, F. B. de. Efeito da aplicação de biochar sobre propriedades químicas do solo e produtividade de feijoeiro comum irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011.

SINGH, B.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LEHMANN, J. **Biochar**: a guide to analytical methods. Boca Raton: CRC Press, 2017. 310 p.

SOARES, T. F. S. N.; LIMA, I. da S.; ALMEIDA, A. Q. de; GONZAGA, M. I. da S.; FIALHO, C. A.; GOMES, I. L. R.; MASSARANDUBA, W. de M. Substrates formulated with biochar for seedling production of *Moringa oleifera* Lam. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 515-524, 2019. DOI: https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p515.

SOUCHIE, F. F.; MADARI, B. E.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MARIMON, B. S.; LENZA, E.; SILVA, T. L. G.; LIMA, H. C. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 811-821, 2011.

SOUZA, L. C. de; LIMA, H. V. de; RODRIGUES, S.; KERN, D. C.; SILVA, Á. P. da; PICCININ, J. L.; SOUZA, L. C. de; LIMA, H. V. de; RODRIGUES, S.; KERN, D. C.; SILVA, Á. P. da; PICCININ, J. L. Chemical and physical properties of an anthropogenic dark earth soil from Bragança, Para, Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 337-344, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4392201505663.

TEIXEIRA, W. W. G.; KERN, D. C. D.; MADARI, B. E. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. W. **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 420 p.

TULLUS, A.; MANDRE, M.; SOO, T.; TULLUS, H. Relationships between cellulose, lignin and nutrients in the stemwood of hybrid aspen in estonian plantations. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 44, p. 101-109, 2010.

VERHEIJEN, F. G. A.; GRABER, E. R.; AMELOOT, N.; BASTOS, A. C.; SOHI, S.; KNICKER, H. Biochars in soils: new insights and emerging research needs. **European Journal of Soil Science**, v. 65, p. 22-27, 2014. DOI: https://doi.org/10.1111/ejss.12127.

WOICIECHOWSKI, T.; LOMBARDI, K. C.; GARCIA, F. A. O.; GOMES, G. S. Nutrientes e umidade do solo após a incorporação de biocarvão em um plantio de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1455-1464, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509835053.

WOOLF, D.; AMONETTE, J. E.; STREET-PERROTT, F. A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, v. 1, p. 56, 2010. DOI: https://doi.org/10.1038/ncomms1053.

WROBEL-TOBISZEWSKA, A.; BOERSMA, M.; SARGISON, J.; ADAMS, P.; JARICK, S. An economic analysis of biochar production using residues from Eucalypt plantations. **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 177-182, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.06.015.

ZHANG, H.; CHEN, C.; GRAY, E. M.; BOYD, S. E.; YANG, H.; ZHANG, D. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: a phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. **Geoderma**, v. 276, p. 1-6, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.04.020.

ZHANG, R.; ZHAO, Y.; LIN, J.; HU, Y.; HÄNNINEN, H.; WU, J. Biochar application alleviates unbalanced nutrient uptake caused by N deposition in Torreya grandis trees and seedlings. **Forest Ecology and Management**, v. 432, p. 319–326, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.040.

ZHANG, R.; ZHANG, Y.; SONG, L.; SONG, X.; HÄNNINEN, H.; WU, J. Biochar enhances nut quality of Torreya grandis and soil fertility under simulated nitrogen deposition. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 321-329, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.036.

ZHOU, G.; ZHOU, X.; ZHANG, T.; DU, Z.; HE, Y.; WANG, X.; SHAO, J.; CAO, Y.; XUE, S.; WANG, H.; XU, C. Biochar increased soil respiration in temperate forests but had no effects in subtropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 339-349, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2017.09.038.

14

Serviços ecossistêmicos e eucalipto

Lucília Maria Parron Vargas
Junior Ruiz Garcia
Monica Matoso Campanha
Claudia Maria Branco de Freitas Maia
Dalva Luiz de Queiroz
Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto
Elenice Fritzsons
Marcos Silveira Wrege

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

A classificação internacional apresentada pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005), categoriza os serviços ecossistêmicos (ou serviços ambientais) em quatro grupos: i) serviços de provisão são produtos obtidos a partir de ecossistemas (p. ex. biomassa e água doce); ii) serviços de regulação incluem os benefícios obtidos do controle dos ecossistemas sobre os processos naturais (p. ex. sequestro de carbono, repositório de agentes reguladores de pragas e qualidade do solo); iii) serviços de suporte incluem os processos naturais que mantêm os outros serviços ecossistêmicos (p. ex. ciclos biogeoquímicos e da água); iv) serviços culturais e de informação representam os benefícios não-materiais obtidos dos ecossistemas (p. ex. valores espirituais e educacionais, informações genéticas).

A cultura do eucalipto é parte de sistemas econômicos, sociais e ambientais, e tem sido desenvolvida em biomas de clima tropical e subtropical (Santarosa et al., 2014). Como outros sistemas agrícolas, a cultura do eucalipto pode ser uma paisagem multifuncional que não apenas produz biomassa vegetal, mas também, por exemplo, pode ser habitat para a vida selvagem, incluindo inimigos naturais para controle de pragas, sequestrar e armazenar carbono (C) e estimular atividades culturais e sociais (DeClerck et al., 2016; Tavares et al., 2019). Neste sentido, a produção de eucalipto pode tanto prover serviços ecossistêmicos como contribuir para a manutenção deles, mas isso depende das práticas de manejo adotadas. Cabe destacar que o cultivo de eucalipto depende do fluxo de serviços ecossistêmicos como qualquer atividade social ou econômica.

Para avaliar as relações entre o cultivo de eucalipto e os serviços ecossistêmicos, foi conduzida no presente trabalho uma pesquisa estruturada na base de dados Quaesta de projetos relacionados com o cultivo de eucalipto, desenvolvidos pela Embrapa com seus parceiros (Embrapa, 2019). O estudo apresenta quatro objetivos: i) identificar os projetos que abordam a cultura do eucalipto e destes, identificar a menção aos serviços ecossistêmicos; ii) identificar os serviços ecossistêmicos avaliados nesses projetos e calcular a frequência desses serviços; iii) compilar o conhecimento sobre os principais serviços ecossistêmicos identificados nos projetos; iv) apresentar as principais tendências da pesquisa na abordagem em serviços ecossistêmicos associados ao cultivo do eucalipto.

Os projetos da Embrapa

Para o objetivo (1), a identificação dos projetos foi realizada em maio de 2019, na base de dados Quaesta (https://sistemas.sede.embrapa.br/quaesta/quaesta.php), usando uma combinação dos termos 'eucalipto' ou '*Eucalyptus*' no título, objetivo geral e resumo. A busca na base de dados Quaesta resultou na identificação de 107 projetos (Apêndice 1). O projeto mais antigo data de 1993 e o mais recente é de 2018, revelando que esta temática tem sido tratada na Embrapa há mais de duas décadas. *Corymbia* é um gênero botânico que também recebe a designação de eucalipto. Pesquisas no Quaesta (Embrapa, 2019) identificaram apenas um projeto (Bancos de germoplasma de espécies florestais) que trabalha com esse gênero e também com *Eucalyptus*.

Frequentemente, os projetos identificados tratam de um ou mais serviços ecossistêmicos (ou serviços ambientais) sem usar especificamente esse termo. Um estudo pode, por exemplo, examinar o estoque de carbono no solo (serviço de regulação) ou a produtividade de biomassa (serviço de provisão) nos cultivos de eucaliptos, sem se referir a serviços ecossistêmicos. Por isso, para atender ao objetivo (2), foi utilizada a classificação internacional "Avaliação Ecossistêmica do Milênio" (MEA, 2005), resultando na identificação de onze serviços ecossistêmicos nos 107 projetos identificados (Tabela 1).

Os serviços ecossistêmicos associados aos cultivos de eucalipto mais frequentemente estudados foram produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, recursos genéticos, manejo de pragas e doenças, e sequestro e armazenamento de C.

Embora poucos projetos utilizem o conceito de serviços ecossistêmicos, vários deles avaliam múltiplos indicadores desses serviços. Na Tabela 2 é apresentada uma visão geral de quatro projetos que focaram simultaneamente e de maneira mais específica, em indicadores de serviços ecossistêmicos de provisão, regulação e suporte. A priorização deles foi em função da maior frequência com que aparecem diferentes termos pesquisados e apresentados na Tabela 1.

Estes resultados revelam que gradualmente a Embrapa têm incorporado em suas pesquisas sobre o cultivo do eucalipto a abordagem baseada em serviços ecossistêmicos, conforme difundida pela MEA (2005).

Tabela 1. Termos de pesquisa usados para identificar onze classes de serviços ecossistêmicos, seguindo a classificação internacional Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005), em 107 projetos da Embrapa envolvendo a temática da cultura de eucalipto.

Grupo	Classe	Termos pesquisados[1]	N° de projetos
Provisão (biótico)	Produção de fibras	Produção, produtividade, madeira, crescimento	59
	Recursos genéticos	Melhoramento genético, germoplasma, genômica, gênica, bioativos	22
Provisão (abiótico)	Provisão de água	Água, umidade do solo, água no solo, evapotranspiração, hídrico	7
Regulação e manutenção	Controle de pragas e doenças	Pragas, doenças, controle biológico, manejo integrado de pragas, MIP	20
	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo	Conservação do solo, perda do solo, práticas de cultivo, erosão	23
	Regulação do clima	Clima, aquecimento, regulação, sombra, microclima	15
	Sequestro e armazenamento de carbono e mitigação de emissão de gases de efeito estufa (GEEs)	Armazenamento de C, sequestro de C, gases de efeito estufa, GEE, óxido nitroso, N_2O, gás carbônico, CO_2, deposição de nitrogênio (N)	18
	Controle de resíduos	Manejo de resíduos, reciclagem	5
Suporte	Ciclagem de nutrientes	Decomposição, serapilheira, leguminosas, fixação biológica de N	5
	Conservação de biodiversidade	Biodiversidade, adequação ambiental	9
Culturais e informação	Serviços culturais	Cultura, tradição, participativo, social, agroecológica	0

[1]Para ampliar a pesquisa dos termos, frequentemente foi utilizada a raiz da palavra seguida por asterisco.

Tabela 2. Visão geral de quatro projetos baseados em cultivos de eucalipto, identificados pela pesquisa estruturada na base de dados Quaesta, que avaliam, simultaneamente, vários indicadores de serviços ecossistêmicos.

Projeto (Sigla)	Unidade /Período	Objetivo	Serviços ecossistêmicos
Avaliação de indicadores e valoração de serviços ambientais em diferentes sistemas de uso da terra. (ServiAmbi)	Embrapa Florestas 2013-2016	Avaliar indicadores e valorar serviços ambientais em diferentes sistemas de uso da terra: remanescente florestal (capões de mata), sistemas agroflorestais associados com sistemas pastoris (integração lavoura-pecuária-floresta - ILPF), sistema florestal plantado (monocultura de eucaliptos) e sistema de plantio direto (SPD).	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, regulação do clima, conservação de biodiversidade, sequestro de GEEs e armazenamento de C, provisão de água.
Sistemas agroflorestais e florestais com potencial para incrementar a oferta de bens e serviços ambientais em áreas degradadas do estado do Rio de Janeiro. (Eucaleg)	Embrapa Solos 2012-2014	Fortalecer estudos e estratégias de recuperação de áreas degradadas por meio do monitoramento de florestas mistas de espécies arbóreas e da implantação de sistemas agroflorestais que sejam mitigadores dos processos erosivos e ao mesmo tempo do desmatamento de florestas naturais do Estado, aumentando dessa forma a oferta de bens e serviços ambientais nas regiões de implantação.	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, conservação de biodiversidade.
Análise da distribuição geoespacial e de aspectos ambientais da eucaliptocultura na bacia do Rio Paraíba do Sul. (Geovale)	Embrapa Monitoramento 2014-2016	Caracterizar a dinâmica espaço-temporal de uso e cobertura da terra da eucaliptocultura e alguns de seus impactos na bacia do Rio Paraíba do Sul (estimar evapotranspiração e temperatura do ar, determinar a emissão de C para a atmosfera, avaliar aspectos fitossociológicos de espécies florestais nativas, obter equações de crescimento e produção de eucaliptos, identificar e quantificar espécies de mamíferos e aves, avaliar a taxa de erosão do solo, avaliar a influência do uso das terra na disponibilidade hídrica).	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, regulação do clima, sequestro de GEEs e armazenamento de C, produção de água, conservação de biodiversidade.
Monitoramento e avaliação de estratégias de mitigação de emissões de GEEs em plantios comerciais de eucalipto. (Mitigation)	Embrapa Agrobiologia 2017-2021	Obter fatores de emissão e definir estratégias de mitigação da emissão de gases de efeito estufa, bem como observar medidas de adaptação, para plantios de eucalipto.	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de GEEs e armazenamento de C, ciclagem de nutrientes, controle de resíduos.

Eucalipto: fornecedor ou "consumidor" de serviços ecossistêmicos?

O cultivo de eucalipto, como qualquer outra atividade econômica, contribui para a produção de bens necessários para a sociedade, mas depende do uso de recursos naturais, gera resíduos em seus processos de produção e perdas na qualidade ambiental (Santarosa et al., 2014). Contudo, a silvicultura, dependendo das práticas de manejo adotadas, pode contribuir para amenizar os impactos ambientais e sociais a partir da provisão de serviços ecossistêmicos ou da redução no requerimento de recursos naturais em seus processos (Shvidenko et al., 2005; Farinaci et al., 2013; Campoe et al., 2014; Silva et al., 2019b). Assim, as mudanças no ambiente associadas à silvicultura de eucalipto afetam uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, incluindo produção de fibras, qualidade e disponibilidade de água, qualidade do solo, sequestro e estoque de C, serviços de polinização, dispersão de sementes, controle de pragas e doenças, biodiversidade, mudança e degradação do habitat e proteção contra distúrbios (Vihervaara et al., 2012; Parron et al., 2015, Payn et al., 2015). Com base na categorização MEA (2005) são apresentados os principais serviços ecossistêmicos que podem ser associados ao cultivo de eucalipto. Para atender ao objetivo (3) foram apresentados aspectos conceituais sobre os principais serviços ecossistêmicos identificados a partir da bibliografia disponível e dos projetos da base Quaesta (Apêndice 1).

Serviços de provisão

Serviços de provisão são os produtos que são obtidos de ecossistemas, tais como: alimentos, fibras, combustíveis, recursos genéticos, bioquímicos, remédios naturais, produtos farmacêuticos e água. O aumento desses serviços ocorre por meio de mudanças na área sobre a qual o serviço é prestado ou aumento da produção por unidade de área (MEA, 2005).

Produção de fibras e combustível

Os ecossistemas são fontes de uma diversidade de materiais necessários para o setor de construção civil, moveleiro, papeleiro e de combustíveis. Madeira, biocombustíveis e óleos vegetais são derivados diretamente de espécies arbóreas nativas e cultivadas (Serviço Florestal Brasileiro, 2018). Neste caso, o cultivo de eucalipto é um fornecedor de serviços de provisão. A fim de maximizar a produção desses materiais e ao mesmo tempo preservar as florestas nativas, foram desenvolvidos sistemas de cultivo florestal (Florence, 2004; Nyland et al., 2016). É importante que o cultivo respeite a capacidade de suporte dos ecossistemas e que sejam adotadas práticas que minimizem impactos negativos ambientais, sociais e econômicos.

A avaliação da produção de biomassa, a partir da abordagem de serviços ecossistêmicos, inclui a produtividade (biomassa acima do solo e volume de madeira comercializável), sendo que o diâmetro, o comprimento dos troncos e a idade da plantação florestal são informações básicas para a definição de estratégias para a colheita da madeira em desbastes e corte final. A definição das práticas de manejo adequadas aumenta a eficiência dos cultivos, maximizando sua provisão de biomassa (Nyland et al., 2016; Brancalion et al., 2019).

As diretrizes da silvicultura intensiva incluem o uso de espécies de rápido crescimento, contribuindo para o fechamento rápido da copa, preparação do solo para promover o crescimento das raízes e otimizar a aquisição de recursos, fertilização do solo para evitar limitações de nutrientes no crescimento e controle químico de plantas indesejáveis para eliminar a competição com as mudas (Gonçalves et al., 2013; Silva et al., 2013; Binkley et al., 2017). Estas técnicas contribuem não apenas para o provimento de biomassa (serviço de provisão), mas também de outros serviços ecossistêmicos. A melhoria no desempenho fisiológico do eucalipto, levando à maior sobrevivência inicial e crescimento das árvores, resulta em maior acúmulo de biomassa (Campoe et al., 2014). Em outras palavras, esse processo contribui para o aumento da eficiência no uso da terra, porque aumenta a produção de biomassa. O aumento da produtividade reduz o requerimento de novas áreas de cultivo, portanto, protegendo as florestas nativas e mantendo o fluxo de serviços ecossistêmicos nestas áreas.

Projetos da Embrapa - A abordagem utilizada nos projetos da Embrapa em relação a esse tema se refere à avaliação:

- De desempenho dos clones comerciais de eucalipto em função de arranjos populacionais (densidade e espaçamento) dentro do renque (Cerqueira et al., 2017).
- De componentes ambientais em propriedades e empresas de produção florestal com eucalipto.
- Da dinâmica florestal (Bellote; Silva, 2004; Bellote et al., 2008b; Castro et al., 2011; Maeda et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Spinelli-Araujo et al., 2015). Em 16 projetos identificados nesse estudo, essas avaliações incluem plantios mistos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (Franchini et al., 2014; Alves et al., 2015a, 2015b; Ferreira et al., 2016; Karvatte Junior et al., 2016; Oliveira et al., 2017; Alves et al., 2017, Ribaski, 2018) (Apêndice 1).

Recursos genéticos

Na classificação do MEA, os serviços ecossistêmicos associados aos recursos genéticos incluem os genes e a informação genética (serviço ecossistêmicos de informação) usadas na biotecnologia e no melhoramento de plantas e animais. Neste sentido, o cultivo é beneficiado pela informação genética provida pelos ecossistemas naturais.

O melhoramento tradicional de culturas de eucaliptos baseou-se em pouca variabilidade de recursos de germoplasma para as principais espécies, embora a genética molecular e a biotecnologia forneçam novas ferramentas para quantificar e expandir a diversidade genética (Resende et al., 2012; Binkley et al., 2017). Contudo, os recursos genéticos são perdidos por intermédio da perda de cultivares tradicionais de espécies agrícolas (devido em parte à adoção de práticas e variedades agrícolas modernas) e por meio da extinção de espécies (MEA, 2005; Pádua, 2018). A diversidade genética e a diversidade de espécies, bem como os padrões espaciais das paisagens, as flutuações ambientais e os ciclos temporais com os quais as espécies evoluíram, geram a resiliência dos ecossistemas (MEA, 2005; Oliver et al., 2015).

Desse modo, no cultivo de eucalipto o estabelecimento de povoamentos de espécies mistas (ao contrário de monoculturas) tem o potencial para elevar a resiliência dos sistemas e fornecer mais serviços ecossistêmicos (Thompson et al., 2014) devido à maior heterogeneidade estrutural, tanto espacial como temporal, como o desenvolvimento de copas ou estratificação da raiz (Forrester et al., 2006). Contudo, a heterogeneidade reduz a produtividade de povoamentos de eucalipto em até 20% no período de rotação de sete anos (Soares et al., 2016). Os genótipos mais uniformes tendem a ter maior produtividade do que os mais heterogêneos (Stape et al., 2010; Hakamada et al., 2015; Soares et al., 2016). Por outro lado, a heterogeneidade estrutural influencia tanto positiva quanto negativamente outras funções e serviços do ecossistema que estão ligados à produtividade, como o uso da água, sequestro de C, ciclagem de nutrientes, resistência às secas e outras variações no clima (Thompson et al., 2014).

Projetos da Embrapa - A abordagem utilizada nos projetos envolvendo recursos genéticos de eucalipto na Embrapa são:

- A caracterização desses recursos.
- Metodologias para transformação genética.
- O desenvolvimento e produção de germoplasma para múltiplos usos da madeira.
- Estratégias de melhoramento genético tradicional.
- Seleção genômica para desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas (variações ambientais e estresse hídrico) (Myburg et al., 2014; Resende et al., 2018; Tan et al., 2018; Cappa et al., 2019). Neste sentido, o cultivo de eucalipto não apenas se beneficia da diversidade genética dos ecossistemas naturais, mas contribui para o avanço do conhecimento genético, beneficiando outras áreas da economia (Apêndice 1).

Provisão de água

Os fatores que determinam o impacto de plantios florestais nos recursos hídricos estão relacionados com a: i) hidrologia florestal e propriedades do solo; ii) a paisagem

de referência; e iii) configuração dos sistemas hídricos (Fritzsons; Parron, 2017). A eficiência no uso da água (Water Use Efficiency (WUE)) é um dos principais determinantes da produtividade em plantios florestais e, em geral, os cultivos de eucalipto apresentam valores de WUE potencialmente mais altos, se comparada com pastagens, cultivos de pinus e florestas nativas (Dvorak, 2012; Zalesny Junior et al., 2016). O consumo de água em nível de talhão depende da disponibilidade de água e do déficit de pressão de vapor (Otto et al., 2014). Por isso, o consumo é maior em regiões com maior disponibilidade hídrica, quando comparadas às regiões mais secas (Stape et al., 2010). Além disso, o uso da água por indivíduos ou em talhões de eucaliptos varia significativamente entre os clones e não é uma característica constante de um determinado genótipo. O uso real da água pelos eucaliptos em uma bacia hidrográfica depende de muitos fatores, incluindo a extensão de área, tamanho, distribuição espacial, produtividade e distribuição de faixa etária dos povoamentos plantados (Dvorak, 2012). A variabilidade de WUE entre os clones de eucalipto sugere um potencial de melhoramento de clones baseado nesta característica e na resistência à seca, e ambos são fatores de grande importância em um cenário de alterações climáticas, considerando a competição dos usos da terra pela disponibilidade de água. O relevo e o regime de chuvas também são determinantes nas taxas de transpiração e, consequentemente, no balanço hídrico dos plantios (Facco et al., 2012; Caldato; Schumacher, 2013). Neste contexto, reduzir a demanda por água nos cultivos de eucalipto e, dessa forma, contribuir para o superávit no balanço hídrico, promove o serviço ecossistêmico de provisão de água.

Projetos da Embrapa - A abordagem utilizada nos projetos da Embrapa em relação a esse tema tem sido a avaliação das condições físicas do solo (utilizando o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)), que é o volume de água retido no solo que pode limitar o desenvolvimento das plantas pela disponibilidade de água, aeração e resistência do solo à penetração de raízes), e o desenvolvimento de índices de qualidade física do solo e de armazenamento de água (Silva et al., 2015; Nascimento et al., 2019). A melhoria nas condições físicas do solo pode contribuir para a manutenção e até mesmo ampliação da capacidade de infiltração da água da chuva nos cultivos de eucaliptos. Essa abordagem é utilizada nos trabalhos com silvicultura de precisão, na avaliação de indicadores de serviços ecossistêmicos e na avaliação do efeito do desbaste de árvores na disponibilidade de água no solo, em povoamentos florestais ou em sistemas ILPF (Rieger et al., 2016; Bosi et al., 2020) (Apêndice 1).

Outras abordagens nos estudos sobre consumo e disponibilidade de água em plantios de eucalipto são o melhoramento de clones baseado na resistência à seca e o uso de ferramentas de geotecnologia para estimativa dos fluxos da evapotranspiração

e o balanço hídrico. Essas ferramentas podem monitorar a intensificação dos cultivos e os impactos de mudanças de uso da terra (Apêndice 1).

Fornecimento de bioquímicos, medicina natural e farmacêuticos

O fornecimento de bioquímicos para medicina natural é classificado como um serviço ecossistêmico de provisão (MEA, 2005). A medicina natural com utilização de compostos oriundos da biodiversidade tem sido amplamente pesquisada para o controle de pragas e doenças de plantas e animais (Halfeld-Vieira et al., 2016; Pereira et al., 2016b). As pragas e doenças podem causar redução na produtividade, mortalidade de indivíduos e prejuízos econômicos, tanto na produção vegetal quanto animal. Os produtos químicos convencionais utilizados no controle ou erradicação de pragas e doenças, em geral de moléculas sintetizadas pela indústria, podem contaminar produtos destinados ao consumo, como carne, leite, mel, frutas e o meio ambiente, e ainda criar organismos resistentes a este tipo de controle (Morais; Marinho-Prado, 2016; Moraes et al., 2016). Há uma grande preocupação da população consumidora com a presença de resíduos tóxicos em produtos agropecuários, devido ao uso de produtos químicos tais como inseticidas, fungicidas, vermífugos, antibióticos, entre outros (Stoppelli; Magalhães, 2005; Marangoni et al., 2012; Carneiro et al., 2015).

Diante da crescente preocupação da sociedade com saúde, nutrição e meio ambiente, acrescida de recentes regulamentações para atividades agrícolas, tal como a agricultura orgânica, tem aumentado o interesse científico pela utilização de alternativas ao controle químico, tais como o uso de extratos de plantas no controle de parasitas, produtos menos agressivos ao homem e à natureza (Halfeld-Vieira et al., 2016; Pereira et al., 2016b). A utilização de extratos e óleos essenciais de plantas vem sendo uma alternativa eficiente no bioestímulo do crescimento e proteção vegetal (Steffen et al., 2010). Neste sentido, espécies de eucalipto têm sido estudadas como fornecedoras de compostos bioquímicos naturais, fitoterápicos, os quais representam importantes serviços ecossistêmicos para a sociedade, como o serviço de controle biológico (Siqueira et al., 2016). Assim, o cultivo de eucalipto estaria contribuindo indiretamente para a melhoria da qualidade ambiental e da saúde humana.

Projetos da Embrapa - Os projetos da Embrapa nesse tema estão relacionados às pesquisas com a utilização de óleos essenciais de espécies de eucalipto no controle de verminose em pequenos ruminantes (caprinos) e para redução da infestação de mosca-dos-chifres em bovinos, e manejo da resistência destes insetos (Apêndice 1).

Serviços de regulação

Controle biológico

O controle biológico de pragas e doenças se refere aos processos naturais fornecidos pelos ecossistemas que ajudam a reduzir e limitar esses problemas. Como para todas as paisagens agrícolas e florestais, a supressão e o controle de pragas e doenças nos talhões de eucalipto são importantes para proteger a cultura dos danos causados por elas. Aqui, o cultivo de eucalipto se beneficiaria do serviço de regulação, mas também poderia contribuir para sua provisão, como já destacado na seção anterior. Parasitas e herbívoros são componentes de comunidades ecológicas naturais e têm o potencial de se tornar patógenos e pragas, respectivamente (Brockerhoff et al., 2017; Liebhold et al., 2017). Apenas uma pequena fração das muitas doenças e pragas que afetam as espécies arbóreas causam grandes danos às culturas. A compreensão da sua regulação natural e sob quais circunstâncias esta relação se decompõe e resulta no surgimento de pragas e doenças melhoram o manejo destas ameaças (Boyd et al., 2013). A capacidade de prever a propagação espacial de pragas e doenças são críticas no manejo de seus danos. Como elas têm facilidade de se espalhar nas monoculturas, esforços e recursos financeiros são dedicados ao controle destas, muitas vezes utilizando pesticidas (MEA, 2005). Além disso, os desafios da supressão e controle de pragas tendem a se intensificar, já que mudanças no clima afetam as faixas de pragas e potencialmente trazem novas pragas para os sistemas agrícolas. É esperado que os insetos se tornem mais abundantes com o aumento das temperaturas. Esta abundância será acompanhada por taxas mais altas de desenvolvimento populacional, crescimento, migração e invernagem (Lin, 2011).

Projetos da Embrapa - O controle biológico tem sido uma alternativa positiva no combate às pragas que atacam os eucaliptais e tem sido um dos temas extensivamente pesquisado pela Embrapa. Para iniciar programas de controle biológico, a Embrapa realiza:

- Levantamentos (Queiroz et al., 2012a), catalogação e zoneamentos de pragas e doenças associadas a espécies florestais plantadas no Brasil.
- Gerenciamento e simulação de riscos de pragas para a cultura do eucalipto (Bonetti Filho et al., 2010).
- Distribuição (Queiroz et al., 2018a) e predição de dispersão de pragas (Queiroz et al., 2010) frente a cenários de mudanças climáticas (Queiroz et al., 2013).
- Monitoramento e controle de pragas e doenças florestais,
- Disponibilização de diagnósticos e protocolos para o controle de insetos-praga e fitopatógenos do eucalipto, em diversas regiões do Brasil.

Em projetos específicos, a Embrapa buscou inimigos naturais dentro e fora do Brasil (Favaro et al., 2006), utilizou-se do controle biológico clássico com a introdução de parasitoides exóticos para o controle de pragas, tais como *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero e Dellapé 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae) (Soliman et al., 2019; Barbosa et al., 2018), e *Blastopsylla occidentalis* (Hemiptera: Aphalaridae) (Queiroz et al., 2018b). Para o sucesso do manejo de pragas é essencial o conhecimento e a correta identificação dos insetos associados à cultura (Burckhardt et al., 1999, Queiroz; Burckhardt, 2007). Nesta linha, a Embrapa atuou no: i) manejo e controle biológico de pragas exóticas do eucalipto; ii) manejo e biodiversidade de Psylloidea associadas ao sistema integração lavoura-pecuária-floresta e à citricultura no Brasil; e iii) manejo integrado para o controle de formigas cortadeiras e várias outras pragas em plantios de eucalipto. Dentro do manejo integrado de pragas (Queiroz et al., 2012b), foram estudados processos de controle alternativo de pragas, tais como: a caracterização de danos (Queiroz et al., 2005), plantas resistentes (Queiroz et al., 2010; Camargo et al., 2014) e o aumento da resistência das plantas com o uso de silício (Queiroz et al., 2016). Esta é uma temática muito tratada nas pesquisas da Embrapa, o que pode contribuir para a melhoria da qualidade ambiental nas regiões de cultivo do eucalipto (Apêndice 1).

Serviços ecossistêmicos do solo

Para subsidiar a tomada de decisão e formação de políticas públicas sobre a utilização e manejo mais sustentável dos solos e o desenvolvimento de mecanismos para promover a valorização e valoração dos serviços ecossistêmicos, vários esforços têm sido feitos para melhorar a comunicação e a apropriação do conhecimento sobre solos e sua relação com esses serviços (Blum et al., 2006; Comerford et al., 2013; Robinson et al., 2014; Baral et al., 2016; Jónsson; Davíðsdóttir, 2016; Schwilch et al., 2016a, 2016b; Drobnik et al., 2018; Banwart et al., 2019).

O solo proporciona a base para a produção de alimentos, fibras e energia renovável. Além de seu papel na produção de biomassa e energia, desempenha funções ecológicas, como a regulação dos ciclos hidrológico e biogeoquímico, é o meio natural de reciclagem de materiais orgânicos, tem efeito mitigador das mudanças climáticas globais e serve como reserva genética de biodiversidade. Alguns destes são apresentados em outros itens neste capítulo. Exerce, ainda, funções de natureza socioeconômica, como suporte de infraestrutura e reserva de patrimônio natural e cultural (Blum, 2005; Powlson et al., 2011; FAO; ITPS, 2015). A segurança do solo, que se refere à manutenção e melhoria dos solos em todo o mundo, para que possam continuar a fornecer alimentos, fibras e água potável, contribuir para a sustentabilidade energética e climática e ajudar a manter a biodiversidade e proteger os bens e serviços ecossistêmicos, é maior quando as funções do solo têm maior desempenho (McBratney et

al., 2014). As ameaças e funções do solo de relevância universal foram apontadas pela Comissão das Comunidades Européias (CEC, 2006). As ameaças são: i) erosão por água e vento; ii) declínio da matéria orgânica; iii) compactação; iv) salinização e v) deslizamentos de terra. As funções são: i) produção de biomassa; ii) armazenamento, filtragem e transformação de nutrientes, substâncias e água; iii) reserva de biodiversidade; iv) ambiente físico e cultural; v) fonte de matéria-prima; vi) atuando como reserva de carbono e vii) conservação do patrimônio geológico e arqueológico (Bouma; McBratney, 2013).

O manejo da fertilidade do solo numa abordagem sistêmica envolve muitas variáveis, sendo que a matéria orgânica tem um papel importante exercendo funções que provêm serviços ecossistêmicos do solo (Coleman et al., 1989; Bot; Benites, 2005; Feller et al., 2006; Schmidt et al., 2011; Xavier; Mendonça, 2011; Murphy, 2014, 2015; FAO; ITPS, 2015; FAO, 2017b). Estratégias de manejo do solo que apliquem técnicas de proteção e conservação do solo junto ao manejo adequado da matéria orgânica, permitirão a formação e melhor estabilidade de agregados do solo (Oades, 1984, 1993; Silva; Mielniczuk, 1997a, 1997b; Le Bissonnais, 2016). Consequentemente, isto favorece um menor escorrimento superficial e maior infiltração de água no solo, o que contribui para a purificação da água e para o manancial de água de uma região (tanto "água verde" como reservatório de água disponível no solo, como "água azul" referente ao abastecimento de aquíferos e cursos d'água (Hunink et al., 2012), para o que florestas plantadas tem um papel importante para a conservação de água (Ferraz et al., 2013).

Na cultura do eucalipto o manejo do solo associado a técnicas conservacionistas deve ser definido dependendo do tipo do solo (p. ex., profundidade do solo, textura, declividade), histórico de uso e nível de compactação do solo. Em geral, são considerados o uso do preparo mínimo do solo com subsolador e plantio em covas, plantio em nível, bem como a manutenção de cobertura permanente do solo com cobertura morta (serapilheira); e a utilização de plantas de cobertura englobando um manejo adequado da matéria orgânica dependendo do sistema integrado de produção (Dedecek; Gava, 2005; Dedecek et al., 2007; Oliveira et al., 2013; Prevedello et al., 2014; Gonçalves et al., 2013, 2014, 2017; Silva et al., 2016; Rocha et al., 2018; Wichert et al., 2018).

O manejo adequado melhora a densidade do solo e permite um crescimento radial e longitudinal mais rápido de raízes, bem como de raízes finas, aumentando a capacidade competitiva do eucalipto para sobreviver sob estresse hídrico, frio e nutrientes, além de melhorar as condições estruturais do solo. Neste aspecto, as raízes de eucalipto podem contribuir efetivamente por serem dimórficas com distribuição lateral bem espalhada e pivotante que aumenta em profundidade conforme as árvores se desenvolvem. Também com características oportunistas por crescerem dependendo do gradiente de disponibilidade de água e de nutrientes, com mecanismos de "feedback"

eficientes em resposta a mudanças ambientais. Em geral, estes são atributos controlados geneticamente e têm sido pesquisadas estratégias para melhoramento vegetal e planejamento de uso de espécies e clones dependendo das condições ambientais, com reflexos na sua contribuição aos serviços ecossistêmicas do solo (Laclau et al., 2013; Gonçalves et al., 2013, 2014, 2017; Pinheiro et al., 2016; Jourdan et al., 2018; Bordron et al., 2019).

O cultivo de eucalipto se beneficia dos serviços ecossistêmicos do solo, como fertilidade, retenção de sedimentos e infiltração da água. Contudo, as práticas de manejo dos cultivos de eucaliptos podem contribuir para que o resultado seja positivo, por exemplo, recuperando e aumentando a fertilidade de solos degradados, reduzindo as taxas de erosão e de arraste de sedimentos (que podem contaminar outros ecossistemas) e aumentar a taxa de infiltração da água no solo. Desse modo, o cultivo de eucalipto pode se tornar também um provedor de serviços ecossistêmicos (Brancalion et al., 2017; Cerullo; Edwards, 2019; Silva et al., 2019a). Os principais processos que determinam a extensão e taxa de melhoria do solo em cultivos de eucalipto são aqueles que promovem a proteção da superfície do solo do impacto das chuvas e diminuição da incidência direta dos raios solares (amenizando temperatura do ambiente e do solo). Estes processos ocorrem tanto pela influência da copa das árvores como pelo acúmulo de serapilheira que interferem positivamente na ciclagem e disponibilidade de nutrientes (resultantes da produção e decomposição da biomassa das árvores), bem como promovendo a maior absorção e utilização de nutrientes de camadas mais profundas do solo pelas raízes, as quais também contribuem para a melhoria de atributos físicos no solo (Laclau et al., 2010; Achat et al., 2015; Versini et al., 2016; Soares et al., 2017; Gmach et al., 2018; Wichert et al., 2018; Bordron et al., 2019; Zagatto et al., 2019).

Projetos da Embrapa - A abordagem utilizada nos projetos da Embrapa em relação a esse tema abrange:

- Avaliação técnico-científica da mudança de uso e cobertura das terras envolvendo a cultura do eucalipto por meio da aplicação de geotecnologias, verificada ao longo do tempo, e das alterações ambientais analisando fatores como: (a) a taxa de erosão do solo nos sistemas de manejo; (b) na melhoria da temperatura levando em conta a espacialização dos valores dos fluxos da evapotranspiração; (c) na fixação ou menor liberação de carbono para a atmosfera; (d) na produção de água e (e) na manutenção da fertilidade do solo.
- Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo (Avanzi et al., 2011; Silva et al., 2014).
- Avaliação do efeito da aplicação de biochar em eucalipto: (a) na fertilidade e física do solo; (b) sobre a edafofauna e a microbiologia do solo; (c) no armazenamento de carbono; (d) na melhoria da agregação do solo; (e) no armazenamento de água do

solo, balanço hídrico do solo e Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) (Rezende et al., 2016) e (f) na avaliação visual da estrutura do solo (Souchie et al., 2011).

- Avaliação do uso de isótopos do carbono como traçadores in situ para avaliar a influência do ambiente (água e potássio) sobre a dinâmica do carbono nos ecossistemas de eucaliptos; e determinação dos efeitos dos estresses hídricos e nutritivos e das interações entre eles sobre os processos chaves do funcionamento dos eucaliptos (Oliveira et al., 2018).
- Definição de padrões de variabilidade espacial nos sistemas integrados englobando eucalipto, ILPF e ILP, sobre atributos químicos e biológicos do solo e sua correlação com a produtividade de lavouras e pastagens (Deiss et al., 2016; Assis et al., 2017).
- Caracterização das populações de minhocas e determinação do potencial das minhocas como bioindicadoras ambientais e da qualidade do solo (propriedades físico-químicas e fertilidade dos solos) em diversos agroecossistemas e sistemas florestais em vários biomas brasileiros, especialmente na região Sul e Sudeste do Brasil (Zagatto et al., 2017, 2019).
- Caracterização do Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), densidade do solo, resistência à penetração, umidade do solo e curva de retenção de água no solo, macro e micronutrientes e teor de carbono, biomassa, atividade enzimática e diversidade microbiana (Chaer; Tótola, 2007; Balieiro et al., 2008; Silva et al., 2009) (Apêndice 1).

Serviços de regulação do clima

Os serviços ecossistêmicos de regulação do clima podem ser estimados pela avaliação do microclima e do clima regional e pelo sequestro e armazenamento de C no solo e na vegetação.

Sequestro e armazenamento de carbono pelo solo e pela vegetação

De todos os serviços ecossistêmicos, o sequestro e armazenamento de C recebem a maior atenção da pesquisa nos últimos anos, principalmente por causa do seu destaque nas discussões sobre mudanças climáticas e mercados de créditos de carbono no meio científico e político (Brasil, 2012b; Stocker et al, 2013), mas também por apresentar metodologia de quantificação bem definida (Tito et al., 2009; Higa et al., 2014; Zanatta et al., 2014; UNFCCC, 2015; FAO, 2019).

Como plantas de ciclo de vida longo, os cultivos de eucalipto, tanto em monocultura, como em sistemas mistos ou integrados, apresentam grande contribuição na remoção do CO_2 atmosférico em função de sua maior biomassa e maior capacidade de captura e utilização de recursos de crescimento (luz, nutrientes e água), comparados aos sistemas de culturas anuais ou pastagens, durante o seu crescimento (Carvalho et al., 2010).

O potencial de captura de C em eucaliptais se dá tanto pela imobilização deste elemento na biomassa florestal (especialmente na madeira), como na imobilização no solo (nas raízes e na matéria orgânica) (Ferez et al., 2015). Destaca-se aqui a madeira utilizada em produtos de maior vida útil e, portanto, com maior tempo de imobilização do C, como móveis e materiais para construção civil (Alves et al., 2015a). Além disto, quando comparado a combustíveis fósseis, o uso de biomassa de eucalipto para fins energéticos pode levar a um abatimento da ordem de 80-90% na emissão de gases de efeito estufa (Gabrielle et al., 2013). O balanço de CO_2 foi também positivo para indústria de papel e celulose, indicando haver muito mais sequestro do que emissão (Ueoka, 2008). Em relação à emissão de óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa muitas vezes mais potente que o CO_2 (Myhre et al., 2013), estudos preliminares sugerem que povoamentos de eucalipto apresentam menor taxa de emissão em período de transição da época seca para chuvosa, do que a vegetação de Cerrado típico (Passos et al., 2014). Porém, esta característica precisa ser mais bem estudada em diferentes condições de plantio, solos e clima.

O C também pode ser armazenado no solo. Se as plantações de eucalipto permanecem intocadas por um longo tempo seu estoque de C provavelmente irá aumentar. Entretanto, considerando as práticas adotadas de cultivo de eucalipto, ciclos maiores que seis anos são incomuns (Ditt et al., 2010). Sistemas integrados, como sistemas ILPF, com eucalipto como componente arbóreo, apresentam alto potencial de sequestro de C no solo (Salton et al., 2014; Franchini et al., 2015). O C armazenado tanto nas árvores como no solo geram um saldo positivo, possibilitando a neutralização de gases de efeito estufa liberados por outros componentes do sistema, tais como emissão de óxido nitroso (N_2O) com a aplicação de fertilizantes nitrogenados ou emissão de metano entérico (CH4) pelos bovinos em pastejo (Kichel et al., 2014; Salton et al., 2014; Franchini et al., 2015). De acordo com Alves et al. (2015a), no Brasil, o potencial de mitigação de GEEs em sistemas de IPF/ILPF com árvores de rápido crescimento como o eucalipto, em densidades de 250-350 árvores ha^{-1}, planejados para corte das árvores a partir dos oito anos de idade, são capazes de produzir 25 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de madeira, o que corresponde a um sequestro anual de cerca de 5 t ha^{-1} de C, o que equivale à neutralização da emissão de GEEs de cerca de 12 bovinos adultos.

Projetos da Embrapa - A abordagem utilizada em sequestro de C nos projetos da Embrapa abrange:

- Avaliação da quantidade de carbono sequestrado pelo componente arbóreo (diferentes clones de eucalipto) ou pelo solo (estoque de C do solo) em sistemas produtivos (plantios homogêneos, mistos e/ou sistemas integrados) (Salton et al., 2014; Franchini et al., 2015, Alves et al., 2015a; Alves et al., 2015b; Rodrigues et al., 2017).

- Balanço da emissão de GEE, pela diferença entre GEE emitido (N_2O e CH_4) e sequestrado em um sistema produtivo (Novaes et al., 2017; Sato et al., 2019).
- Avaliação de modelos de produção com eucalipto para mitigação de GEE.
- Estudo de condicionadores de solo derivados de eucalipto (biochar) no potencial de sequestrar C em solos.
- Obtenção de indicadores ambientais, em diferentes biomas, para suporte às políticas públicas de incentivo ao controle das mudanças climáticas (Apêndice 1).

Regulação do clima (microclima e clima regional)

Com relação ao clima, os serviços ecossistêmicos promovidos pela cultura do eucalipto podem ser divididos em temperatura e vento.

Quanto à temperatura, os ecossistemas florestais são importantes na regulação macroclimática, devido à absorção do gás carbônico, um dos gases de efeito estufa, mas são importantes também considerando o microclima (Carbonieri et al., 2015; Vieira Júnior et al., 2019). As árvores nas áreas urbanas absorvem pó e poluentes e contêm os efeitos das ilhas de calor presentes em centros urbanos (Lin et al., 2015). Neste aspecto, o cultivo de eucalipto próximo às ocupações urbanas pode contribuir para reduzir a temperatura que ocorre nos horários mais quentes do dia e aumentá-la nos horários mais frios, formando um tamponamento climático e cumprindo, assim, o papel de regulação do microclima.

No campo, cumprindo este papel de regulação climática, a presença do componente arbóreo pode proporcionar maior conforto térmico para os animais, melhorando o desempenho reprodutivo e criando condições para um ambiente mais produtivo (Wrege et al., 2015). Para as culturas o benefício se refere à redução de riscos de geada e permite o crescimento de espécies que requerem ambientes mais sombreados (Paciullo et al., 2009; Lin et al., 2010; Souza et al., 2010).

Quanto à incidência de ventos, os ventos suaves podem ajudar a uniformizar a temperatura do ar e a umidade relativa, diminuindo o gradiente de temperatura entre a superfície do solo e as zonas de maior altitude, o que muitas vezes evita que ocorra uma geada e a distribuir a umidade do ar das zonas mais úmidas para as zonas mais secas. Os quebra-ventos formados pelos plantios de espécies arbóreas podem reduzir a velocidade dos ventos e, assim, reduzir o acamamento de plantas (Durigan, 1986).

Projetos da Embrapa - A abordagem dos diversos projetos da Embrapa utilizada em relação ao tema foi voltada, especialmente, para o microclima em duas vertentes temáticas. A primeira relaciona a presença das sombras de árvores de eucaliptos no sistema ILPF ao benefício na criação animal e melhoria nas propriedades físico-químicas dos solos. No que tange ao componente animal, o contexto explorado é o de que a sombra das árvores cria um ambiente confortável aos animais reduzindo o estresse pelo efeito do calor ou frio excessivo, propiciando maior ganho de peso, maior produção de

leite e maior eficiência reprodutiva (Karvatte Junior et al., 2016; Alves et al., 2017). A segunda vertente analisa benefícios nos aspectos ecofisiológicos associados à produtividade florestal (Costa et al., 2015, Attia et al., 2019) (Apêndice 1).

Manejo e reciclagem de resíduos

No cultivo de eucalipto, grandes quantidades de resíduos florestais permanecem no campo após a colheita, minimizando assim o problema da exportação de nutrientes do solo e da erosão. Esse material é constituído em sua maior parte pela casca, ramos e folhas das copas das árvores e árvores finas, inteiras e toras (Foelkel, 2007). Bellote et al. (2008a) avaliaram o efeito de diferentes manejos de resíduos florestais (resíduos da colheita como casca, galhos, ponteira, folhas e serapilheira) no estado nutricional das árvores, no conteúdo de nutrientes na serapilheira e a biomassa de serapilheira produzida por *Eucalyptus grandis* e constataram que a manutenção no sítio do resíduo da colheita florestal melhora o estado nutricional das árvores e aumenta a produtividade. Estes autores também observaram que a adição de resíduos da fábrica de celulose permitiu aumento expressivo de produtividade do plantio. Os resíduos florestais têm grande potencial para a produção de biochar, obtido por pirólise (processo que envolve o aquecimento da matéria orgânica na ausência de oxigênio) (Bergier et al., 2015; Novotny et al., 2015). O biochar, rico em C, tem sido aplicado em cultivos florestais, como uma proposta tecnológica que usa o carvão no solo para o enriquecimento das frações estáveis de C no solo, visando seu acúmulo e sequestro neste compartimento e também o incremento da qualidade do solo e, consequentemente, do crescimento das árvores (Trazzi et al., 2018). Neste contexto, os resíduos de madeira de eucalipto destacam-se entre os melhores materiais com potencial para a produção de biochar de alta qualidade. Isto devido à sua homogeneidade, teor de lignina e disponibilidade no Brasil, o que favorece a viabilidade econômica de seu fabrico (Novotny et al., 2015; Domingues et al., 2017). Portanto, o adequado manejo e a reciclagem de resíduos florestais de eucalipto podem contribuir para o controle da erosão, fertilidade e infiltração de água do solo.

Nas empresas do setor de produção de madeira, papel e celulose, por exemplo, são gerados diversos tipos de resíduos. A reciclagem dos resíduos industriais para uso como fertilizantes ou energia reduz o requerimento de outras fontes, como combustível fóssil. Na indústria de papel e celulose, o processo *Kraft* para a extração de celulose gera a lama de cal e o lodo orgânico resultante de tratamentos de efluentes líquidos, as cascas de eucalipto provenientes do processo de descascamento, e as cinzas advindas da queima de biomassa nas caldeiras para obtenção de energia (Toledo et al., 2015). O reaproveitamento de resíduos de processamento da indústria madeireira, como cinzas de madeira e lodo celulósico, gerados em estações de tratamento de efluentes da reciclagem de aparas de papel vem ganhando importância, pela sua abundância e baixo custo (Maeda et al., 2015). A aplicação desses resíduos

(associados a calcário dolomítico) como insumo na fertilização de solos florestais atende à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) e contribui para a melhoria da fertilidade do solo, principalmente na reposição de cálcio e magnésio (Maeda et al., 2015).

A lignina de efluentes da indústria de papel e celulose também pode ser reaproveitada para a obtenção de diversos produtos químicos renováveis (Schorr et al., 2014). A geração de efluentes líquidos e gasosos (com reconhecido potencial tóxico) (Laurichesse; Avérous, 2014) como o licor negro e gases de enxofre podem ser considerados como uma fonte de matéria-prima para processos químicos de conversão (Lourençon, 2018). A abordagem é o desenvolvimento de monômeros fenólicos para a produção de resinas e antioxidantes para a conservação de biocombustível, a partir de ligninas, de modo a agregar valor às cadeias da biomassa de eucalipto.

Projetos da Embrapa - A abordagem utilizada nos projetos da Embrapa em relação ao aproveitamento de resíduos agroflorestais inclui:

- A produção de biochar a partir de resíduos florestais (Bergier et al., 2015; Novotny et al., 2015; Rezende et al., 2016).
- O aproveitamento de lodo resultante do tratamento de efluentes de fábricas e de aparas de papel como insumo de nutrição florestal (Maeda et al., 2015; Faria et al., 2016).
- Aplicação de resíduos orgânicos em plantios florestais e manejo dos resíduos da colheita (Andrade et al., 2006).
- O aproveitamento de ligninas para a obtenção de novos produtos químicos com um enfoque de biorefinarias (Virmond et al., 2013; Zanoni et al., 2017; Lourençon, 2018) (Apêndice 1).

Serviços de suporte

Estes serviços são essenciais para a manutenção da dinâmica dos ecossistemas, contribuindo, portanto, para o fluxo dos demais serviços ecossistêmicos e para a atividade agrícola e florestal (MEA, 2005). Dessa maneira, o cultivo de eucalipto é beneficiado pelos serviços de suporte, mas também pode ser um provedor, tais como o serviço de ciclagem de nutrientes em função dos resíduos florestais.

Ciclagem de nutrientes

Estima-se que vinte nutrientes sejam essenciais à vida, incluindo nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C), os quais ciclam por processos ecológicos e são mantidos em concentrações variadas e adequadas para sustentar a vida nos diferentes ecossistemas naturais (Lavelle et al., 2005; FAO; ITPS, 2015; FAO, 2017b). Em geral os nutrientes

ocorrem no ambiente em diferentes formas (gasosa, mineral, inorgânica como íons e orgânica como em organismos e matéria orgânica) e a ciclagem envolve fluxos controlados por diferentes mecanismos de transformações entre e, ou nos componentes bióticos e abióticos. Os serviços ecossistêmicos de ciclagem de nutrientes são baseados na determinação de funções dos ecossistemas como fixação biológica de N, suprimento de P por fungos micorrízicos, e taxas de decomposição e de mineralização de serapilheira e acúmulo da matéria orgânica do solo (estoque de C) (Laclau et al., 2010; Ghaley et al., 2014; Achat et al., 2015; FAO; ITPS, 2015; Versini et al., 2016; FAO, 2017a; Santos et al., 2017; Pereira et al., 2018, 2019; Marron; Epron, 2019; Voigtlaender et al., 2019; Zagatto et al., 2019).

A matéria orgânica tem um papel importante na fertilidade do solo em sua abordagem mais ampla, especialmente em solos tropicais e subtropicais (Coleman et al., 1989; Bot; Benites, 2005). Isto porque compreende compartimentos ou grupos de componentes lábeis, resistentes, humificados e recalcitrantes (que engloba o C pirogênico e o carvão) (Baldock, 2007), com funções múltiplas na expressão dos processos químicos (ciclagem e armazenamento de nutrientes e de água, e complexação de metais pesados ou substâncias tóxicas), físicos (formação e estabilidade dos agregados do solo) e biológicos do solo (Murphy, 2014, 2015). Variações naturais dos tipos de solos, clima, taxas de mineralizações e sistemas de cultivo, todos afetam os níveis de fertilidade do solo e as tendências de esgotamento ou acúmulo de nutrientes e consequentemente a produtividade dos sistemas de produção. A matéria orgânica do solo (MOS) tem como principal componente o C e engloba resíduos de plantas, animais e microrganismos em diversos estágios de decomposição, em íntima associação com os minerais do solo. O acúmulo da MOS quantificado como estoque de C depende da intensidade dos processos de adição de resíduos vegetais e de decomposição destes compostos orgânicos sendo vários os fatores biológicos, químicos e físicos que conferem às frações orgânicas proteção ao ataque de microrganismos (Silva; Mielniczuk, 1997a, 1997b; Lützow et al., 2006; Baldock, 2007; Schmidt et al., 2011; Jarvis et al., 2012; O'Brien; Jastrow, 2013).

Na abordagem ecossistêmica, há dois problemas em relação à ciclagem de nutrientes relacionados às alterações causadas por atividades humanas: a redução por exportação de nutrientes nos solos cultivados e o excesso de oferta de nutrientes por meio da adição de fertilizantes sintéticos solúveis (Lavelle et al., 2005). No primeiro caso, há muitas regiões onde a colheita sem reposição de nutrientes tem levado a um esgotamento da fertilidade do solo, com sérias consequências para a nutrição humana e o meio ambiente. No segundo, por exemplo, o acúmulo de N e P no solo permite um grande aumento da produção de alimentos, mas a custo do aumento das emissões de GEE e da eutrofização de corpos d'água e sistemas costeiros (Lavelle et al., 2005). Neste caso, se não forem adotadas práticas de manejo que contribuem para a retenção de arraste de sedimentos e redução das taxas de erosão, tem-se como

resultado a deterioração de uma série de serviços ecossistêmicos terrestres e aquáticos e do bem-estar humano (Clark et al., 2017).

Projetos da Embrapa - Há duas abordagens em relação à ciclagem de nutrientes nos projetos com eucalipto na Embrapa. A primeira é o consórcio de eucalipto com espécies arbóreas fixadores de N, nativas ou introduzidas (como *Acacia mangium*, espécie florestal australiana). A perspectiva é de que o consórcio com leguminosas propicie melhoria da fertilidade do solo (pelo seu enriquecimento com N) e aumento da disponibilidade de fósforo, resultando no incremento do crescimento do eucalipto e da produtividade no povoamento misto (Santos et al., 2018). As avaliações estimam a fixação biológica de N_2 e a contribuição da fixação biológica do N ao eucalipto. O consórcio também é feito entre eucalipto e leguminosas herbáceas como *Centrosema acutifolium*, *Clitoria ternatea*, *Pueraria phaseoloides*, estilosantes-campo-grande (*Stylosanthes capitata* + *S. macrocephala*), *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Dolichos lab-lab* e *Aeschinomene vilosaee*) utilizadas como pastagens de bovinos.

A segunda abordagem da ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto é avaliar se a serapilheira que se acumula no solo (o que indica reciclagem de quantidades importantes de N e C) é fonte de produção de óxido nitroso (N_2O) e de oxidação de metano (CH_4). Os trabalhos visam desenvolver fatores de emissão de N_2O para N da serapilheira em plantios de eucalipto, nas regiões produtoras (Cuer et al., 2018; Silva et al., 2018). Nesta abordagem o cultivo de eucalipto se torna um provedor de serviço ecossistêmico, na forma de ciclagem de nutrientes (Apêndice 1).

Conservação da biodiversidade

A biodiversidade é a variabilidade entre organismos vivos e os complexos ecológicos dos quais eles fazem parte (Mace et al., 2005; Garbach et al., 2014). Quando uma espécie é perdida em um determinado local (mesmo que não seja extinta) ou introduzida em outro local, os vários serviços ecossistêmicos associados a essa espécie são alteradas. Quando um habitat é convertido, uma variedade de serviços ecossistêmicos associados às espécies presentes nesse local é alterada, muitas vezes com impacto direto e imediato na biodiversidade e sobre as pessoas (Thompson et al., 2014). Mudanças na biodiversidade também podem ter impactos indiretos nos serviços ecossistêmicos (Gardner et al., 2008), que podem ocorrer pelo aumento dos riscos potenciais de quebra de safra e de danos causados por pragas e doenças (Boyd et al., 2013).

Contudo, florestas plantadas que são bem manejadas considerando os conceitos de ecologia da paisagem, como proteção de remanescentes, corredores de vegetação natural e que são compostas de uma riqueza maior de espécies arbóreas, além da manutenção da matéria orgânica e da porosidade do solo, provavelmente fornecerão

serviços ecossistêmicos em um grau maior do que aquelas que não são (Brockerhoff et al., 2013; Pompeo et al., 2017; Castaño-Villa et al., 2019).

A produção de mel de eucalipto é beneficiada com o cultivo, portanto, contribuindo para a preservação de polinizadores (Luz et al., 2011). Assim, o cultivo de eucalipto poderia contribuir para a manutenção e até mesmo expansão do serviço de polinização (serviço de regulação, porque contribui para a presença dos polinizadores, especialmente abelhas) e produção de mel (serviço de provisão) (Brockerhoff et al., 2013; Hilgert-Moreira et al., 2014).

Projetos da Embrapa - A maioria dos projetos da Embrapa nesse tema está ligada à preocupação do setor florestal com exigências do mercado e no cumprimento da legislação ambiental (Código Florestal e legislações estaduais). Por isso, propõem ações de restauração florestal em áreas de Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APP), que representam, respectivamente, as figuras de conservação e preservação mais importantes definidas na legislação (Brasil, 2012a; Pereira et al., 2016a).

Os projetos também buscam soluções para os principais passivos ambientais (como as áreas degradadas) e orientam os produtores rurais para a adequação ambiental em suas propriedades. A interação de espécies nativas com a implantação de florestas comerciais, permitida pela legislação, é apresentada como uma solução para a restauração florestal. Nas propriedades rurais, os projetos avaliam indicadores ecológicos em sub-bosque de eucalipto e em remanescentes florestais, como o estado da biodiversidade da flora arbustivo-herbácea e da fauna, a riqueza de aves e mamíferos, a riqueza do banco de sementes, e a regeneração natural de espécies nativas. Essas avaliações permitem associar o tipo e intensidade do uso da terra e a quantidade e qualidade dos serviços ecossistêmicos gerados. Ferramentas de geotecnologias também são utilizadas para selecionar áreas para recomposição vegetal, com o objetivo de promover o aumento da conectividade entre remanescentes florestais (Ronquim et al., 2016; Teixeira et al., 2017) (Apêndice 1).

Serviços culturais

Os ecossistemas fornecem não apenas serviços tangíveis, mas também serviços ecossistêmicos não materiais ligados à percepção humana, como patrimônio cultural, tradições, estética e valores recreativos (De Groot; Ramakrishnan, 2005). Estes podem ser preservados em paisagens físicas e em registros históricos e conhecimento tradicional e são um pré-requisito para um desenvolvimento sustentável, onde haja equilíbrio entre valores ecológicos, sociais e econômicos (Tengberg et al., 2012; Oliveira; Berkes, 2014). A forma como as pessoas respondem a uma mudança no uso da terra é determinada pelos benefícios que eles obtêm nos usos anterior e posterior a essa

mudança, e pelo valor que elas colocam nesses benefícios (Teoh et al., 2019). Embora na Embrapa hajam estudos sobre o impacto dos cultivos de eucalipto nos indicadores ambientais, como os efeitos no sequestro e armazenamento de carbono e no ciclo de nutrientes, não há registros de estudos utilizando a abordagem sobre as percepções de serviços culturais.

No Brasil, onde a importância econômica da silvicultura tem aumentado e espera-se que continue sendo no futuro próximo, o manejo sustentável dos serviços ecossistêmicos é importante para o desenvolvimento dos cultivos. Neste contexto, a vinculação dos serviços culturais ao cultivo de eucalipto poderia auxiliar na adoção de práticas de manejo mais conservacionistas, além de promover uma integração social. Algumas áreas de cultivo de eucalipto poderiam ser usadas, por exemplo, para prover serviços de recreação enquanto estão em fase de crescimento. Em função das características biofísicas do cultivo de eucalipto, a prática de atividades de lazer é possível, além das questões de sensação de tranquilidade, entre outros. Ainda, em áreas usadas para a produção de mel de eucalipto, o desenvolvimento de festas e atividades culturais.

Tendências para a pesquisa em eucalipto

Pensando no futuro e no compromisso com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, a Embrapa investe em várias tecnologias sustentáveis algumas ainda em andamento, mas com resultados promissores. Entre as centenas de tecnologias geradas pela Embrapa, destacam-se as que embasaram duas políticas públicas importantes para o compromisso brasileiro de redução das emissões de gases de efeito estufa: o Programa ABC (de financiamento) e o Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), em vigor desde 2010. Uma dessas tecnologias, o sistema integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF), é utilizada, sob diferentes combinações, em mais de 14 milhões de hectares no Brasil (Embrapa, 2018). Nestes sistemas, o eucalipto vem encontrando posição de destaque. No entanto, com a dinâmica das florestas naturais ou plantadas, os problemas podem mudar rapidamente dependendo de fatores ambientais e mercadológicos, que geram variações nas dimensões e localização das áreas plantadas, nos materiais genéticos utilizados para os diferentes fins ou no tipo de manejo da cultura. Os principais desafios de pesquisa e inovação da Embrapa em serviços ecossistêmicos e que se adequam aos cultivos de eucalipto são:

- Viabilizar a multifuncionalidade dos serviços ecossistêmicos em escala de paisagem rural.

- Viabilizar a inserção dos serviços ecossistêmicos prestados por sistemas de produção das principais *commodities* agropecuárias ao sistema de contas econômicas e ambientais.
- Viabilizar a transição de sistemas agropecuários e florestais de elevado impacto ambiental para sistemas de produção sustentáveis.
- Estimular a certificação de propriedades rurais com sistemas de produção multifuncionais que assegurem a prestação de serviços ecossistêmicos.
- Agregar valor aos sistemas de ILPF pelo reconhecimento de serviços ecossistêmicos intrínsecos do sistema.
- Estimular o manejo integrado de pragas sem uso de agroquímicos e prestigiando o controle biológico.

A maioria dos 107 projetos identificados nesse estudo segue as diretrizes da silvicultura intensiva, que não considera a provisão de serviços ecossistêmicos múltiplos como um mecanismo para a sustentabilidade do negócio. No entanto, em função do ordenamento ditado pela política internacional e pelo mercado de *commodities*, a tendência é de que abordagem ecossistêmica que considera, além dos aspectos econômicos, também os aspectos ambientais e sociais, faça parte do futuro da silvicultura. Cabe aos protagonistas da pesquisa florestal atuar nessa direção, incorporando agendas ambientais urgentes em suas propostas de pesquisa, tais como tecnologias de baixo carbono, redução da pegada hídrica, uso sustentável de recursos e conservação da biodiversidade.

Referências

ACHAT, D. L.; DELEUZE, C.; LANDMANN, G.; POUSSE, N.; RANGER, J.; AUGUSTO, L. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth: a meta-analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 348, p. 124-141, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.042.

ALVES, B. J. R.; MADARI, B. E.; BODDEY, R. M. Integrated crop livestock forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 1-4, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s10705-016-9818-6.

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A. **Carne carbono neutro**: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2015a. 32 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1056155.

ALVES, F. V.; NICODEMO, M. L. F.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Bem-estar animal em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (org.). **Integração lavoura-pecuária-floresta**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015b. v. 1. p. 273-287.

ANDRADE, G. de C.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; RIZZI, N. E.; GAVA, J. L. Acúmulo de nutrientes na biomassa e na serapilheira de *Eucalyptus grandis* em função da aplicação de lixo urbano e de nutrientes minerais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 53, p. 109-136, 2006.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; SILVEIRA, A. L. R.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E. Biological soil properties in integrated crop-livestock-forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160209, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160209.

ATTIA, A.; NOUVELLON, Y.; CUADRA, S. V.; CABRAL, O.; LACLAU, J. P.; GUILLEMOT, J.; CAMPOE, O.; STAPE, J.; GALDOS, M.; LAMPARELLI, R.; MARIE, G. L. Modelling carbon and water balance of Eucalyptus plantations at regional scale: effect of climate, soil and genotypes. **Forest Ecology and Management**, v. 449, p. 1-13, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117460.

AVANZI, J. C.; NORTON, L. D.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A. Aggregate stability in soils cultivated with eucalyptus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 89-96, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000100012.

AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NORTON, L. D.; BESKOW, S.; MARTINS, S. G. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and atlantic forest. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 5, p. 427-434, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000500006.

BALDOCK, J. A. Composition and cycling of organic carbon in soil. **Soil Biology**, v. 10, p. 1-35, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-68027-7_1.

BALIEIRO, F. C.; OLIVEIRA, W. C.; PEREIRA, M. G.; A., L. H. C.; PICOLLO, M. de C.; JACCOUD, C. F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v. 32, p. 153-162, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000100017.

BANWART, S. A.; NIKOLAIDIS, N. P.; ZHU, Y-G; PEACOCK, C. L.; SPARKS, D. L. Soil functions: connecting earth's critical zone. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 47, p. 333-359, 2019. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-earth-063016-020544.

BARAL, H.; GUARIGUATA, M. R.; KEENAN, R. J. A proposed framework for assessing ecosystem goods and services from planted forests. **Ecosystem Services**, v. 22, p. 260–268, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.002.

BARBOSA, L. R.; RODRIGUES, A. P.; SOUZA, L. N.; FOERSTER, L. A.; SOUZA, A. R.; CASTRO, B. M.C.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C. Development of *Cleruchoides noackae*, an egg-parasitoid of *Thaumastocoris peregrinus*, in eggs laid on different substrates, with different ages and post-cold storage. **Biocontrol**, v. 63, p. 193, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s10526-017-9863-3.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. da. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 31-41, 2008a.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. Nutrição, adubação e calagem para *Eucalyptus*. In: FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. (org.). **Formação de povoamentos florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008b. p. 55-65.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalipt plantations. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (org.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-139.

BERGIER, I.; MAIA, C. M. B. F.; GUIOTOKU, M.; PAIVA, P. M. V.; SILVA, A. P.; NOVOTNY, E. H. Pyrolysis dynamics of biomass residues in hot-stage. **Bioresources**, v. 10, p. 7604-7617, 2015. DOI: https://doi.org/10.15376/biores.10.4.7604-7617.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R. L.; CEGATTA, I.; STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 271-283, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.050.

BLUM, W. E. H. Functions of soil for society and the environment. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 4, p. 75-79, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x.

BLUM, W. E. H.; WARKENTIN, B. R.; FROSSARD, E. Soil, human society and the environment. **Geological Society**, v. 266, nesp., p. 1-8, 2006. DOI: https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.266.01.01.

BONETTI FILHO, R. Z.; QUEIROZ, D. L.; QUEIROZ, E. C.; GARRASTAZU, M.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J. I.; FERNANDES, B. V. Modelos de distribuição e gestão de risco de insetos-praga de eucalipto no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23., 2010. **Anais** [...]. Natal: Sociedade Brasileira de Entomologia: Emparn, 2010. CD-ROM.

BORDRON, B.; ROBIN, A.; OLIVEIRA, I. R.; GUILLEMOT, J.; LACLAU, J.-P.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; ABREU JUNIOR, C. H.; TRIVELIN, P. C. O.; GONÇALVES, J. L. M.; PLASSARD, C.; BOUILLET, J.-P. Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. **Forest Ecology and Management**, v. 431, p. 6-16, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.018.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Soil water availability in a full sun pasture and in a silvopastoral system with eucalyptus. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 429-440, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-019-00402-7.

BOT, A.; BENITES, J. **The importance of soil organic matter**: key to drought-resistant soil and sustained food and production. Rome: FAO, 2005. 78 p. (FAO. Soils bulletin, 80).

BOUMA, J.; MCBRATNEY, A. Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. **Geoderma**, v. 200–201, p. 130–139, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.011.

BOYD, I. L.; FREER-SMITH, P. H.; GILLIGAN, C. A.; GODFRAY, H. C. J. The Consequence of tree pests and diseases for ecosystem sevices. **Science**, v. 342, p. 1-10, 2013. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1235773.

BRANCALION, P. H. S.; CAMPOE, O. C.; MENDES, J. C. T.; NOEL, C.; MOREIRA, G. G.; MELIS, J. V.; STAPE, J. L.; GUILLEMOT, J. Intensive silviculture enhances biomass accumulation and tree diversity recovery in tropical forest restoration. **Ecological Applications**, v. 29, n. 2, e01847, 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/eap.1847.

BRANCALION, P. H. S.; LAMB, D.; CECCON, E.; BOUCHER, D.; HERBOHN, J.; STRASSBURG, B.; EDWARDS, D. P. Using markets to leverage investment in forest and landscape restoration in the tropics. **Forest Policy and Economics**, v. 85, p. 103–113, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.08.009.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; (...) e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, n. 102, p. 1-8, 2012a.

BRASIL. **Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2. ed. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2012. 73 p. Disponível em <https://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: plano ABC. Brasília, DF, 2012b. 173 p. (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono).

BROCKERHOFF, E. G.; JACTEL, H.; PARROTTA, J. A.; FERRAZ, S. F. B. Role of eucalypt and other planted forests in biodiversity conservation and the provision of biodiversity-related ecosystem services. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 43-50, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.018.

BROCKERHOFF, E. G.; LIEBHOLD, A. M. Ecology of forest insect invasions. **Biological Invasions**, v. 19, n. 11, p. 3141–3159, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s10530-017-1514-1.

BURCKHARDT, D.; QUEIROZ, D. L.; ANDRADE, F. M.; PENTEADO, S. R. C.; IEDE, E. T.; TIERRA, A. L. Psyllid Pest (Hemiptera, Psylloidea) in south american eucalypt plantations. **Bulletin de La Societé Entomologic Suisse**, v. 72, p. 1-10, 1999.

CALDATO, S. L.; SCHUMACHER, M. V. O uso de água pelas plantações florestais: uma revisão. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 507-516, 2013. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509810562.

CAMARGO, J. M. M.; ZANOL, K. M. R.; QUEIROZ, D. L.; DEDECECK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; MELIDO, R. C. N. Resistência de Clones de *Eucalyptus* ao Psilídeo-de-Concha. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 91-97, 2014. DOI: https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.77.504.

CAMPOE, O. C.; IANNELLI, C.; STAPE, J. L.; COOK, R. L.; MENDES, J. C. T.; VIVIAN, R. Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: from leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, v. 313, p. 233-242, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.11.016.

CAPPA, E. P.; LIMA, B. M.; SILVA-JUNIOR, O. B.; GARCIA, C. C.; MANSFIELD, S. D.; GRATTAPAGLIA, D. Improving genomic prediction of growth and wood traits in *Eucalyptus* using phenotypes from non-genotyped trees by single-step GBLUP. **Plant Science**, v. 284, p. 9-15, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.017.

CARBONIERI, J.; MORAIS, H.; SANTORO, P. H.; ANDRE, J. Microclima em sistema de cultivo de cafeeiros arborizados e a pleno sol. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015, Curitiba. **Consórcio pesquisa café**: oportunidades e novos desafios: anais. Brasília, DF: Embrapa Café, 2015. 5 p.

CARNEIRO, F. F.; PIGNATI, W. A.; RIGOTTO, R. M.; AUGUSTO, L. G. S.; PINHEIRO, A. R. DE; FARIA, N. M. X.; ALEXANDRE, V. P.; FRIEDRICH, K.; MELLO, M. S. C. Segurança Alimentar e nutricional e saúde. In: CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G. S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚTIHO, A. C. (org.). **Dossiê ABRASCO**: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015. p. 46-89.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001.

CASTAÑO-VILLA, G. J.; ESTEVEZA, J. V.; GUEVARA, G.; BOHADA-MURILLO, M.; FONTÚRBELE, F. E. Differential effects of forestry plantations on bird diversity: a global assessment. **Forest Ecology and Management**, v. 440, p. 202-207, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.025.

CEC. Commission of the European Communities. **Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions**. Thematic Strategy for Soil Protection. COM 231 Final. Brussels. 2006.

CERQUEIRA, C. L.; MÔRA, R.; TONINI, H. Forma do fuste de eucalipto em diferentes arranjos de plantio e espaçamentos. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 137-141, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.34062/afs.v4i3.5073.

CERULLO, G. R.; EDWARDS, D. P. Actively restoring resilience in selectively logged tropical forests. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, p. 107-118, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2664.13262.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600016.

CLARK, C. M.; BELL, M. D.; BOYD, J. W.; COMPTON, J. E.; DAVIDSON, E. A.; DAVIS, C.; FENN, M. E.; GEISER, L.; JONES, L.; BLETT, T. F. Nitrogen-induced terrestrial eutrophication: cascading effects and impacts on ecosystem services. **Ecosphere**, v. 8 n. 7, p. e01877, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/ecs2.1877.

COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. 352 p.

COMERFORD, N. B.; FRANZLUEBBERS, A. J.; STROMBERGER, M. E.; MORRIS, L.; MARKEWITZ, D.; MOORE, R. Assessment and evaluation of soil ecosystem services. **Soil Horizons**, p. 1-14, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.2136/sh12-10-0028.

COSTA, M. A. A.; SANTOS, V. A. H. F.; VIEIRA, C. V.; FARIAS NETO, A. L.; MENEGUCI, J. L. P.; ZOLIN, C. A. ; LULU, J. ; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Aspectos ecofisiológicos e de crescimento de *Eucalyptus urograndis* submetido à suplementação hídrica em plantios clonais. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 12, p. 44-57, 2015. DOI: https://doi.org/10.5216/rbn.v1i1.28306.

CUER, C. A.; RODRIGUES, R. A. R.; BALIEIRO, F. C.; JESUS, J.; SILVA, E. P.; ALVES, B. J. R.; RACHID, C. T. C. C. Short-term effect of *Eucalyptus* plantations on soil microbial communities and soil-atmosphere methane and nitrous oxide exchange. **Scientific Reports**, v. 8, p. 15133, 2018. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-018-33594-6.

DECLERCK, F. A. J.; JONES, S. K.; ATTWOOD, S.; BOSSIO, D.; GIRVETZ, E.; CHAPLIN-KRAMER, B.; ENFORS, E.; FREMIER, A. K.; GORDON, L. J.; KIZITO, F.; LOPEZ NORIEGA, I.; MATTHEWS, N.; MCCARTNEY, M.; MEACHAM, M.; NOBLE, M.; QUINTERO, M.; REMANS, R.; SOPPE, R.; WILLEMEN, L.; WOOD, S. L. R.; ZHANG, W. Agricultural ecosystems and their services: the vanguard of sustainability? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 23, p. 92-99, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.016.

DE GROOT, R.; RAMAKRISHNAN, P. S. (coord.). Cultural and amenity services. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N. (ed.). **Ecosystems and human well-being**: current state and trends: findings of the Condition and Trends Working Group. Washington, DC: Island Press, 2005. v., p. 455-476. (The Millennium Ecosystem Assessment series). Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/en/Condition.html#download>. Acesso em: 2 jul. 2019.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, F. J.; MENEGOL, O. Influence of residue management and soil tillage on second rotation Eucalyptus growth. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 9-17, 2007.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005.

DEISS, L.; MORAES, de M.; PELISSARI, A.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; ANDREOLLA, V. R. M. Oat grain yield under nitrogen uses in na eucalyptus intercropping system in Subtropical Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 462-470, 2016. DOI: https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160056.

DITT, E. H.; MOURATO, S.; GHAZOUL, J.; KNIGHT, J. Forest conversion and provision of ecosystem services in the Brazilian Atlantic Forest. **Land Degradation & Development**, v. 21, p. 591-603, 2010. DOI: https://doi.org/10.1002/ldr.1010.

DOMINGUES, R. R.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, C. A.; MELO, L. C. A.; MAGRIOTIS, Z. M.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. **Plos One**, v. 12, n. 5, p. e0176884, 2017. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176884.

DROBNIK, T.; GREINER, L.; KELLER, A.; GRÊT-REGAMEY, A. Soil quality indicators: from soil functions to ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 151–169, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052.

DURIGAN, G. **Efeito dos quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. Cunn sobre a velocidade do vento**. 1986. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DVORAK, W. S. Water use in plantations of eucalypts and pines: a discussion paper from a tree breeding perspective. **International Forestry Review**, v. 14, n. 1, p. 110-119, 2012. DOI: https://doi.org/10.1505/146554812799973118.

EMBRAPA. **Quaesta**. Brasília, DF, [2019]. Disponível em: <https://sistemas.sede.embrapa.br/quaesta/quaesta.php>. Acesso em: 27 mar. 2019.

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2018. 212 p. Disponível em: <www.embrapa.br/futuro>.

FACCO, A. G.; RIBEIRO, A.; PRUSKI, F. F.; MONTEIRO, W. C.; LEITE, F. P.; ANDRADE, R. G.; MENEZES, S. J. M. DA C. DE. Técnicas de geoinformação para estimativa do balanço hídrico em eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1243-1250, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900009.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations; ITPS. Intergovernmental Technical Panel on Soils. The role of soils in ecosystem processes. In: _____; _____. **Status of the world´s soil resources**. Rome, 2015, p. 13-30. (Main report).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems**: guidelines for assessment (Version 1). Rome, 2017a. 170 p. (Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems**: guidelines for assessment (Version 1). Rome, FAO, 2019. 170 p. (Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soil organic carbon**: the hidden potential. Rome, 2017b. 77 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i6937en/I6937EN.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2019.

FARIA, A. B. DE C.; AUER, C. G.; ÂNGELO, A. C.; COSTA, E. R. O. Efeito de lodo de papel reciclado sobre o crescimento em diâmetro de colo de *Eucalyptus* saligna Smith. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1371-1377, 2016.

FARINACI, J. S.; FERREIRA, L. C.; BATISTELLA, M. Transição florestal e modernização ecológica: a eucaliptocultura para além do bem e do mal. **Ambiente e Sociedade**, v. 16, p. 25-46, 2013.

FAVARO, R. M.; ZANOL, K. M. R.; QUEIROZ, D. L. Ocorrência de *Beauveria* sp em *Glycaspis brimblecombei* Moore, 1964 (Hemiptera: Psyllidae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 26., 2006, Londrina. **Resumos** [...]. Londrina: SBZ, 2006.

FELLER, C.; MANLAY, R. J.; SWIFT, M. J.; BERNOUX, M. Functions, services and value of soil organic matter for human societies and the environment: a historical perspective. In: FROSSARD, E.; BLUM, W. E. H.; WARKENTIN, B. P. (ed.). **Function of soils for human societies and the environment**. London: Geological Society, 2006. p. 9-22. (Special publications, 266).

FEREZ, A. P. C.; CAMPOE, O. C.; MENDES, J. C. T.; STAPE, J. L. Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 350, p. 40-45, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.015.

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. de P.; RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 58–66, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.015.

FERREIRA, A. D.; SERRA, A. P.; LAURA, V. A.; ORTIZ, A. C. B.; ARAUJO, A. R. de; PEDRINHO, D. R.; CARVALHO, A. M. de. Influence of spatial arrangements on silvicultural characteristics of three Eucalyptus clones at integrated crop-livestock-forest system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 19, p. 1734-1742, 2016.

FLORENCE, R. G. **Ecology and silviculture of eucalypt forests**. Australia: CSIRO Publishing, 2004. 403 p.

FOELKEL, C. Gestão ecoeficiente dos resíduos florestais lenhosos da eucaliptocultura. In: EUCALYPTUS Online Book & Newsletter. 2007. 48 p. Disponível em: < http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT07_residuoslenhosos. pdf >. Acesso em: 30 mar. 2019.

FORRESTER D.; BAUHUS, J.; COWIE A. L.; VANCLAY, J. K. Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixiong trees: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 2-3, p. 211-230. 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.012.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; SICHIERI, F. Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para aumentar a produtividade e prover serviços ambientais no noroeste do Paraná. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 266-270.

FRANCHINI, J. C.; SICHIERI, F.; PADULLA, R.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; BALBINOT JUNIOR, A.; DEBIASI, H. Variabilidade espacial e temporal da produtividade da soja em sistema arborizado no Noroeste do Paraná. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 246-251.

FRITZSONS, E.; PARRON, L. M. Plantações florestais comerciais e a água. In: OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. (ed.). **Plantações florestais**: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 110 p. Disponível em: <http://www.embrapa.br/florestas/publicacoes>.

GABRIELLE, B.; NGUYEN, N.; MAUPU, P.; VIAL, E. Life cycle assessment of eucalyptus short rotation coppices for bioenergy production in southern France. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 1, p. 30-42, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/gcbb.12008.

GARBACH, K.; MILDER, J.; MONTENEGRO, M.; KARP, D.; DECLERCK, F. Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, v. 2, p. 21-40, 2014.

GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; ARAUJO, I. S.; AVILA-PIRES, T. C. S.; BONALDO, A. B.; COSTA, J. E.; ESPOSITO, M. C.; FERREIRA, L. V.; HAWES, J.; HEMÁNDEZ, M. I. M.; HOOGMOED, M. S.; LEITE, R. N.; LO-MAN-HUNG, N. F.; MALCOLM, J. R.; MARTINS, M. B.; MESTRE, L. A. M.; MIRANDA-SANTOS, R.; OVERAL, W. L.; PARRY, L.; PETERS, S. L.; RIBEIRO-JUNIOR, M. A.; SILVA, M. N. F.; MOTTA, C. S.; PERES, C. A. The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. **Ecology Letters**, v. 11, p. 139-150, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01133.x.

GHALEY, B. B.; PORTER, J. R.; SANDHU, H. S. Soil-based ecosystem services: a synthesis of nutrient cycling and carbon sequestration assessment methods. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 10, n. 3, p. 177-186, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/21513732.2014.926990.

GMACH, M.-R.; DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; NÓBREGA, J. C. A.; LUSTOSA-FILHO, J. F.; SIQUEIRA-NETO, M. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 14, p. 1-8, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00178.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGO, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J-P. D.; LACLAU, J.-P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 6-27, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.030.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; BRANDANI, C. B.; HAKAMADA, R. Eucalypt plantation management in regions with water stress. **Southern Forests**, v. 79, n. 3, p. 169-183, 2017. DOI: https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1255415.

GONÇALVES, J. L. M.; SILVA, L. D.; BEHLING, M.; ALVARES, C. A. Management of industrial forest plantations. In: BORGES, J. G. (ed.). **The management of industrial forest plantations**: theoretical foundations and applications. Dordrecht: Springer Science, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-8899-1. (Managing forest ecosystems, 33).

HAKAMADA, R. E.; STAPE, J. L.; LEMOS, C. C. Z.; ALMEIDA, A. E. A.; SILVA, L. F. Uniformidade entre árvores durante uma rotação e sua relação com a produtividade em *Eucalyptus* clonais. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 465-472, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521031716.

HALFELD-VIEIRA, B. A.; MARINHO-PRADO, J. S.; NECHET, K. L.; MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. (ed.). **Defensivos agrícolas naturais**: uso e perspectivas. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 853 p.

HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ANDRADE, G. C.; ZANATTA, J. A.; ROSSI, L. M. B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L. F.; GARRASTAZU, M. C.; VASCONCELOS, S. S.; SALIS, S. M. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono** florestal. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 266). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1011409.

HILGERT-MOREIRA, S. B.; NASCHER, C. A.; CALLEGARI, S. M.; BLOCHTEIN, B. Pollen resources and trophic niche breadth of *Apis mellifera* and *Melipona obscurior* (Hymenoptera, Apidae) in a subtropical climate in the Atlantic rain forest of southern Brazil. **Apidologie**, v. 45, p. 129-141, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s13592-013-0234-5.

HUNINK, J. E.; DROOGERS, P.; KAUFFMAN, S.; MWANIKI, B. M.; BOUMA, J. Quantitative simulation tools to analyze up- and downstream interactions of soil and water conservation measures: Supporting policy making in the Green Water Credits program of Kenya. **Journal of Environmental Management**, v. 111, p. 187-194, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.022.

JARVIS, S.; TISDALL, J. M.; OADES, J. M.; SIX, J.; GREGORICH, E. G.; KOGEL-KNABNER, I. Landmark papers: introduction form the EIC. **European Journal of Soil Science**, v. 63, p.1-21, 2012. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01408.x.

JÓNSSON, J. O. G.; DAVÍÐSDÓTTIR, B. Classification and valuation of soil ecosystem services. **Agricultural Systems**, v. 145, p. 24–38, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010.

JOURDAN, C.; GERMON, A.; PRADIER, C.; GOMIDE, M.; GUERRINI, I. A.; RODRIGUES, T.; LAMBAIS, G.; ROBIN, A.; GONÇALVES, J. L. M.; HINSINGER, P.; LACLAU, J.-P. Unexpected root growth and functioning in very deep rooted eucalyptus tree plantations: ontogeny or adaptation to abiotic stresses? In: EUCALYPTUS 2018: managing eucalyptus plantation under global changes: abstracts book. Montpellier: CIRAD, IUFRO, MUSE, 2018. p. 94-95.

KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G. de; MESQUITA, E. E.; OLIVEIRA, C. C. de; ALVES, F. V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 12, p. 1933-1941, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s00484-016-1180-5.

KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A.; ALMEIDA, R. G.; PAULINO, V. T. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF): experiências no Brasil. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 1, p. 94-105, 2014.

LACLAU, J.-P.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; NZILA, J. D.; BOUILLET, J.-P.; ANDRÉ, L. S.; VERSINI, A.; MARESCHAL, L.; NOUVELLON, Y.; M'BOU, A. T.; RANGER, J. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in Eucalyptus plantations established on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 2148-2159, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.007.

LACLAU, J.-P.; SILVA, E. A.; LAMBAIS, G. R.; BERNOUX, M.; LE MAIRE, G.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10m throughout the entire rotation in Eucalyptus grandis plantations. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, article 243, p. 1-12, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2013.00243.

LAURICHESSE, S.; AVÉROUS, L. Chemical modification of lignins: towards biobased polymers. **Progress in Polymer Science**, v. 39, n. 7, p. 1266-1290, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004.

LAVELLE, P.; DUGDALE, R.; SCHOLES, R. (coord.). Nutrient cycling. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N. (ed.). **Ecosystems and human well-being**: current state and trends: findings of the Condition and Trends Working Group. Washington, DC: Island Press, 2005. v. 1. p. 331-353. (The Millennium Ecosystem Assessment series).

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, v. 67, n. 1, p. 1-21, 2016. (Special issue including landmark. Papers, 5).

LIEBHOLD, A. M.; BROCKERHOFF, E. G.; KALISZ, S.; NUNEZ, M. A.; WARDLE, D. A.; WINGFIELD, M. J. Biological invasions in forest ecosystems. **Biological Invasions**, v. 19, p. 3437-3458, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s10530-017-1458-5

LIN, B. B.; PHILPOTT, S. M.; JHA, S. The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services: challenges and next steps. **Basic and Applied Ecology**, v. 16, p. 189-201, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.01.005.

LIN, B. B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 183-193, 2011. DOI: https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4.

LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecossystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 4, p. 510-518, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.010.

LOURENÇON, T. V. **Fractionation of kraft lignin and potential value-added applications**. 2018. 98 f. Thesis (Doctor degree in Forestry Engineering) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LÜTZOW, M. V.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; FLESSA, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 426-445, 2006. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x.

LUZ, C. F. P.; FERNANDES-SALOMÃO, T. M.; LAGE, L. G. A.; RESENDE, H. C.; TAVARES, M. G.; CAMPOS, L. A. O. Pollen sources for *Melipona capixaba* Moure and Camargo: an endangered Brazilian stingless bee. **Psyche**: A Journal of Entomology, v. 2011, p. 1-7, 2011. DOI: https://doi.org/10.1155/2011/107303.

MACE, G.; MASUNDIRE, H.; BAILLIE, J. (coord.). Biodiversity. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N. (ed.). **Ecosystems and human well-being**: current state and trends: findings of the Condition and Trends Working Group. Washington, DC: Island Press, 2005. v. 1. p. 77-122. (The Millennium Ecosystem Assessment series). Disponível em https://www.millenniumassessment.org/en/Condition.html#download, acessado em 02/07/2019.

MAEDA, S.; AHRENS, S.; PENTEADO, S. do R. C.; OLIVEIRA, E. B. de; STOLLE, L.; FOWLER, J. A. P.; BOGNOLA, I. A. Silvicultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 467-477.

MAEDA, S.; SOARES, M. T. S.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; SANTOS, D. E. C. **Uso de resíduos da indústria de papel e celulose em plantios florestais**: aspectos técnicos e legais Colombo: Embrapa Florestas, 2015. (Embrapa Florestas. Documentos, 291). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1039921>.

MARANGONI, C.; MOURA, N. F. de; GARCIA, F. R. M. Utilização de óleos essenciais e extratos de plantas no controle de insetos. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 92-112, 2012.

MARRON, N.; EPRON, D. Are mixed-tree plantations including a nitrogen-fixing species more productive than monocultures? **Forest Ecology and Management**, v. 441, p. 242-252, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.052.

MCBRATNEY, A.; FIELD, D. J.; KOCH, A. The dimensions of soil security. **Geoderma**, v. 213, p. 203-213, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013.

MEA. Millenium Ecosystem Assessment. **Ecosystem and human well-being**: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. 145 p.

MYHRE, G., SHINDELL, D.; BRÉON, F.-M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; KOCH, D.; LAMARQUE, J.-F.; LEE, D.; MENDOZA, B.; NAKAJIMA, T.; ROBOCK, A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA T.; ZHANG, H. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX V.; MIDGLEY, P. M. (ed.). **Climate Change 2013**: the physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 659-740. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2019.

MORAES, R. M.; CERDEIRA, A. L.; DUKE, S. O.; DAYAN, F. E.; CANTRELL, C.; QUEIROZ, S. C. N. Pesticidas naturais derivados de plantas: descoberta e usos. In: HALFELD-VIEIRA, B. de A.; MARINHO-PRADO,J. S.; NECHET, K. de L.; MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. (ed.). **Defensivos agrícolas naturais**: uso e perspectivas. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 505-541.

MORAIS, L. A. S.; MARINHO-PRADO, J. S. Plantas com atividade inseticida. In: HALFELD-VIEIRA, B. de A.; MARINHO-PRADO, J. S.; NECHET, K. de L.; MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. (ed.). **Defensivos agrícolas naturais**: uso e perspectivas. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 542-593.

MURPHY, B. Key soil functional properties affected by soil organic matter - evidence from published literature. **Soil Change Matters, Earth and Environmental Science**, v. 25, p. 1-5, 2015. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/25/1/012008.

MURPHY, B. W. **Soil organic matter and soil function**: review of the literature and underlying data: effects of soil organic matter on functional soil properties. Canberra: Department of the Environment, 2014. 155 p.

MYBURG, A. A.; GRATTAPAGLIA, D.; TUSKAN, G. A.; HELLSTEN, U.; HAYES, R. D.; GRIMWOOD, J.; JENKINS, J.; LINDQUIST, E.; BAUER, D.; GOODSTEIN, D. M.; DUBCHAK, I.; POLIAKOV, A.; MIZRACHI, E.; KULLAN, A. R. K.; HUSSEY, S. G.; PINARD, D.; MERWE, K. van der; SINGH, P.; JAARSVELD, I. van; SILVA JUNIOR, O. B.; TOGAWA, R. C.; PAPPAS, M. R.; FARIA, D. A.; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; YANG, X.; RANJAN, P.; TSCHAPLINSKI, T. J.; YE, C.-Y.; LI, T.; STERCK, L.; VANNESTE, K.; MURAT, F.; SOLER, M.; SAN CLEMENTE, H.; SAIDI, N.; CASSAN-WANG, H.; DUNAND, C.; HEFER, C. A.; BORNBERG-BAUER, E.; KERSTING, A. R.; VINING, K.; AMARASINGHE, V.; RANIK, M.; NAITHANI, S.; ELSER, J.; BOYD, A. E.; LISTON, A.; SPATAFORA, J. W.; DHARMWARDHANA, P.; RAJA, R.; SULLIVAN, C.; ROMANEL, E.; ALVES-FERREIRA, M.; KULHEIM, C.; FOLEY, W.; CAROCHA, V.; PAIVA, J.; KUDRNA, D.; BROMMONSCHENKEL, S. H.; PASQUALI, G.; BYRNE, M.; RIGAULT, P.; SPOKEVICIUS, A.; JONES, R. C.; STEANE, D. A.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M.; JOUBERT, F.; BARRY, K.; PAPPAS JUNIOR, G. J.; STRAUSS, S. H.; JAISWAL, P.; GRIMA-PETTENATI, J.; SALSE, J.; PEER, Y. van de; ROKHSAR, D. S.; SCHMUTZ, J. The genome of *Eucalyptus grandis*. **Nature**, v. 510, p. 356-362, 2014. DOI: https://doi.org/10.1038/nature13308.

NASCIMENTO, D. M.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; SILVA, A. H.; FAVARETTO,N.; PARRON, L. M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil & Tillage Research**, v. 186, p. 292–299, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016.

NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A.; BRANDÃO, M.; ALVES, B. J. R.; MAY, A.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S. Estimating 20-year land use change and derived CO_2 emissions associated to crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global Change Biology**, v. 211, p. 1-13, 2017.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. F.; CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E. Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use: a critical review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2**,** p. 321-344, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140818.

NYLAND, R. D.; KENEFIC, L. S.; BOHN, K. K.; STOUT, S. L. **Silviculture**: concepts and applications. 3rd.ed. Illinois: Waveland, 2016. 680 p.

O'BRIEN, S. L.; JASTROW, J. D. Physical and chemical protection in hierarchical soil aggregates regulates soil carbon and nitrogen recovery in restored perennial grasslands. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 61, p. 1-13, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.031.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v. 76, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, v. 56, p. 377-400, 1993.

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; KLINKE NETO, G.; ARAÚJO, E. F. Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 2, p. 159-169, 2013.

OLIVEIRA, C. C.; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; GAMARRA, É. L.; VILLELA, S. D. J.; MARTINS, P. G.; MACEDO A. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry Systems**, v. 1, p. 1572-9680, 2017.

OLIVEIRA, E. B.; CARDOSO, D. J.; FRANCISCON, L. Silvicultura de precisão em unidades de manejo de plantações florestais. In: BERNARDI, A. C. C; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. p.478-483. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

OLIVEIRA, F. C. C.; SILVA, I. R.; FERREIRA, G. W. D.; SOARES, E. M. B. S.; SILVA, S. R.; SILVA, E. F. Contribution of Eucalyptus harvest residues and nitrogen fertilization to carbon stabilization in Ultisols of southern Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0160340, 2018.

OLIVEIRA, L. E. C.; BERKES, F. What value São Pedro's procession? Ecosystem services from local people's perceptions. **Ecological Economics**, v. 107, p. 114–121, 2014. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.08.008.

OLIVER, T. H.; HEARD, M. S.; ISAAC, N. J. B.; ROY, D. B.; PROCTER, D.; EIGENBROD, F.; FRECKLETON, R.; HECTOR, A.; ORME, C. D. L.; PETCHEY, O. L.; PROENÇA, V.; RAFFAELLI, D.; SUTTLE, K. B.; MACE, G. M.; MARTÍN-LÓPEZ, B.; WOODCOCK, B. A.; BULLOCK, J. M. Biodiversity and resilience of ecosystem functions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, p. 673-684, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009.

OTTO, M. S. G.; HUBBARD, R. M.; BINKLEY, D.; STAPE, J. L. Dominant clonal *Eucalyptus grandis urophylla* trees use water more efficiently. **Forest Ecology and Management**, v. 328, p. 117-121, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.032.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; PIRES, M. F. A. Desempenho de novilhas leiteiras em pastagem solteira ou em sistema silvipastoril constituído por *Eucalyptus grandis* e leguminosas arbóreas. In: CONGRESSO NACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, 1., 2009, Posadas, Misiones, Argentina. **Anais** [...]. Posadas, Misiones: INTA, 2009. p. 297-301.

PÁDUA, J. G. Conservation of crop genetic resources in Brazil in the context of the target 9 of the Global Strategy for Plant Conservation. **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 1557-1565, 2018.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129911/1/Lucilia-LivroServicosAmbientais-Cap1.pdf>.

PASSOS, M. C.; OLIVEIRA, A. D.; RIBEIRO, F. C.; LIMA, A. S.; SILVA, F. R. C.; MENDONÇA, S. R. L. Emissão de óxido nitroso em latossolo sob cultivos de eucalipto e vegetação de Cerrado. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Educar para preservar el suelo y conservar la vida en la tierra**. Cusco: Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco, 2014. Pendrive.

PAYN, T.; CARNUS, J. M.; SMITH, P. F.; KIMBERLEY, M.; KOLLERT, W.; LIU, S.; ORAZIO, C.; RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. N.; WINGFIELD, M. J. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 57-67, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.021.

PEREIRA, A. I. A.; TAVARES, W. S.; FREITAS, S. S.; MAFEZOLI, J.; JESUS, F. G.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Busca por inseticidas botânicos no Cerrado: um argumento para a conservação do bioma e a importância da Faveira (*Dimorphandra mollis* Benth., Fabaceae) neste contexto. In: HALFELD-VIEIRA, B. A.; MARINHO-PRADO, J. S.; NECHET, K. L.; MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. (ed.). **Defensivos agrícolas naturais**: uso e perspectivas. Brasília, DF: Embrapa, 2016b. Cap 22. p. 635-743.

PEREIRA, A. P. A.; DURRER, A.; GUMIERE, T.; GONÇALVES, J. L. M.; ROBIN, A.; BOUILLET, J.-P.; WANG, J.; VERMA, J. P.; SINGH, B. K.; CARDOSO, E. J. B. N. Mixed *Eucalyptus* plantations induce changes in microbial communities and increase biological functions in the soil and litter layers. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 332-342, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.018.

PEREIRA, A. P. A.; SANTANA, M. C.; BONFIM, J. A.; MESCOLOTTI, D. L.; CARDOSO, E. J. B. N. Digging deeper to study the distribution of mycorrhizal arbuscular fungi along the soil profile in pure and mixed Eucalyptus grandis and Acacia mangium plantations. **Applied Soil Ecology**, v. 128, p. 1-11, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.03.015.

PEREIRA, M. A.; BUNGENSTAB, D. J.; MAURO, R. A.; QUEIROZ, H. P. **Monitoramento das mudanças no uso do solo em pequenas e médias propriedades de pecuária de corte**: um estudo de caso para recomendações técnicas à Área de Proteção Ambiental do Córrego Ceroula, MS. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2016a. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 226).

PINHEIRO, R. C.; DEUS JUNIOR, J. C.; NOUVELLON, Y.; CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; ALÓ, L. L.; GUERRINI, I. A.; JOURDAN, C.; LACLAU, J.-P. A fast exploration of very deep soil layers by Eucalyptus seedlings and clones in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 366, p. 143-152, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.012.

POMPEO, P. N.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SANTOS, M. A. B.; MAFRA, A. L.; KLAUBERG FILHO, O.; BARRETA, D. Morphological diversity of coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-15, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160433.

POWLSON, D. S.; GREGORY, P. J.; WHALLEY, W. R.; QUINTON, J. N.; HOPKINS, D. W.; WHITMORE, A. P.; HIRSCH, P. R.; GOULDING, K. W. T. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. **Food Policy**, v. 36, p. S72–S87, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.025.

PREVEDELLO, J.; VOGELMANN, E. S.; KAISER, D. R.; FONTANELA, E.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Agregação e matéria orgânica de um argissolo sob diferentes preparos do solo para plantio de Eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 78, p. 149-158, 2014. DOI: https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.78.456.

QUEIROZ, D. L.; ANJOS, N.; QUEIROZ, E. C. **Surto de *Ctenarytaina spatulata* (Hemiptera: Psyllidae) sobre *Eucalyptus urophylla* x *grandis* em Ventania no Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2012a. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 304). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/931318>.

QUEIROZ, D. L.; BURCKHARDT, D. Introduced Eucalyptus psyllids in Brazil. **Journal of Forest Research**, v. 12, p. 337-344, 2007.

QUEIROZ, D. L.; BURCKHARDT, D.; MAJER, J. Integrated Pest Management of Eucalypt Psyllids (Insecta, Hemiptera, Psylloidea). In: LARRAMENDY, M. L.; SOLONESKI, S. (org.). **Integrated pest management and pest control**: current and future tactics. Rijeka, Croatia: InTech - Open Access Publisher, 2012b. p. 385-412.

QUEIROZ, D. L.; CAMARGO, J. M. M.; DEDECEK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; ZANOL, K. M. R.; MELIDO, R. C. N; BURCKHARDT, D. Effect of silicon application to *Eucalyptus camaldulensis* on the population of *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Aphalaridae). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, p. 85-94, 2016.

QUEIROZ, D. L.; MAJER, J.; BURCKHARDT, D.; ZANETTI, R.; FERNANDEZ, J. R. F; QUEIROZ, E. C; GARRASTAZU, M.; FERNANDES, B. V.; ANJOS, N. Predicting the geographical distribution of *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psylloidea) in Brazil. **Australian Journal of Entomology**, v. 1, p. 20-30, 2013.

QUEIROZ, D. L.; SA, L. A. N. ; COSTA, V. A. ; NESER, S. ; BURCKHARDT, D. The parasitoid Psyllaephagus blastopsyllae as control agent of Blastopsylla occidentalis in eucalypt plantations in Brazil. In: IUFRO WORKING PARTY 7.02.13 MEETING, 1., 2018, Punta del Este. **Improving forest health on commercial plantations**: book of abstracts. [S.l.]: IUFRO, [2018]. p. 44.

QUEIROZ, D. L. de; TAVARES, W. de S.; ARAUJO, C. R. de; BURCKHARDT, D. New country, Brazilian states and host records of the eucalypt shoot psyllid *Blastopsylla occidentalis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, e201701533, 2018. DOI: https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701533.

QUEIROZ, D. L.; ZANOL, K. M. R.; BOTOSSO, P. P. C.; MATTOS, P. P. Danos causadas por *Ctenarytaina spatulata* Taylor, 1977 (Hemiptera: Psyllidae) em *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 50, p. 11-24, 2005.

QUEIROZ, D. L.; ZANOL, K. M. R.; OLIVEIRA, E. B.; ANJOS, N; MAJER, J. Feeding and oviposition preferences of *Ctenarytaina spatulata* Taylor (Hemiptera: Psyllidae) on *Eucalyptus* spp and other Myrtaceae growing in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, p. 149-153, 2010.

RESENDE, M. D. V.; RESENDE, M. F. R.; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; MISSIAGGIA, A. A.; AGUIAR, A. M.; ABAD, J. M.; TAKAHASHI, E. K.; ROSADO, A. M.; FARIA, D. A.; PAPPAS, G. J.; KILIAN, A.; GRATTAPAGLIA, D. **Genomic selection for growth and wood quality in *Eucalyptus*: capturing the missing heritability and accelerating breeding for complex traits in forest trees**. **New Phytologist**, v. 194, p. 116-128, 2012. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.04038.x.

RESENDE, R. T.; SOARES, A. A. V.; FORRESTER, D. I.; MARCATTI, G. E.; SANTOS, A. R.; TAKAHASHI, E. K.; SILVA, F. F.; GRATTAPAGLIA, D.; RESENDE, M. D. V.; LEITE, H. G. Environmental uniformity, site quality and tree competition interact to determine stand productivity of clonal Eucalyptus. **Forest Ecology and Management**, v. 410, p. 76-83, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.038.

REZENDE, F. A.; SANTOS, V. A. H. F.; MAIA, C. M. B. F.; MORALES, M. M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1449-1456, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900043.

RIBASKI, J. Desempenho de espécies de *Eucalyptus* para uso em sistemas de integração floresta-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, e201801638, 2018. 9 p. DOI: https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801638.

RIEGER, F. A.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; SOUZA, A. P.; MATOS, E. S.; MAGALHAES, C. A. S.; FARIAS NETO, A. L. Water erosion on an oxisol under integrated crop-forest systems in a transitional area between the Amazon and Cerrado Biomes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-12, 2016.

ROBINSON, D. A.; FRASER, I.; DOMINATI, E. J.; DAVÍÐSDÓTTIR, B.; JÓNSSON, J. O. G.; JONES, L.; JONES, S. B.; TULLER, M. LEBRON, I.; BRISTOW, K. L.; SOUZA, D. M.; BANWART, S.; CLOTIER, B. E. On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery. **Soil Science Society America Journal**, v. 78, p. 685-700, 2014. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj2014.01.0017.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M.; BRANDANI, C. B.; FERRAZ, A. V.; FRANCI, A. F.; MARQUES, E. R. G.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; HUBNER, A. Forest residue removal decreases soil quality and affects wood productivity even with high rates of fertilizer application. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 188-195, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.010.

RODRIGUES, R. de A. R.; ALVES, B. J. R.; MOMBACH, M. A.; ZANATTA, J. A. Medição de fluxos de gases de efeito estufa e de variáveis acessórias. In: MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. (ed.). **Matéria orgânica do solo**: métodos de análises. 2. ed. rev. atual. Viçosa, MG: UFV, Gefert, 2017. p. 171-214.

RONQUIM, C. C.; SILVA, R. F. B.; FIGUEIREDO, E. B.; BORDONA, R. O.; TEIXEIRA, A. H. C.; COCHASRKI, T. C. D.; LEIVAS, J. F. Carbon sequestration associated to the land-use and land-cover changes in the forestry sector in Southern Brazil. **Proceedings of SPIE**: International Society for Optical Engineering, v. 9998, p. 99981T-1- 99981T-14, 2016.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENCO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 138 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933>.

SANTOS, F. M.; BALIEIRO, F.; FONTES, M. A.; CHAER, G. M. Understanding the enhanced litter decomposition of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia mangium.* **Plant Soil**, v. 423, p.141-155, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-017-3491-7.

SANTOS, F. M.; CHAER, G. M.; DINIZ, A. R.; BALIEIRO, F. C. Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of Eucalyptus and Acacia on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 384, p. 110-121, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.041.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; MARCHÃO, R. L.; OLIVEIRA, A. D.; VILELA, L.; DELVICO, F. M.; ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. Understanding the relations between soil organic matter fractions and N_2O emissions in a long-term integrated crop-livestock system. **European Journal of Soil Science**, v. 4, p. 1-14, 2019.

SCHMIDT, M. W. I.; TOM, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, p. 49-56, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1038/nature10386.

SCHORR, D.; DIOUF, P. N.; STEVANOVIC, T. Evaluation of industrial lignins for biocomposites production. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 65-73, 2014.

SCHWILCH, G.; BERNET, L.; CLARINGBOULD, H.; FLESKENS, L.; GIANNAKIS, E.; LEVENTON, J.; MARAÑÓN, T.; MILLS, J.; SHORT, C.; STOLTE, J.; VAN DELDEN, H.; VERZANDVOORT, S. Soil functions and ecosystem services. In: STOLTE, J.; TESFAI, M.; OYGARDEN, L.; KVAERNO, S.; KEIZER, J. (ed.). **Soil threats in Europe**: status, methods, drivers and effects on ecosystem services. [S.l.]: European Commission DG Joint Research Centre, 2016a. p. 156-172. (JRC Technical Reports).

SCHWILCH, G.; BERNET, L.; FLESKENS, L.; GIANNAKIS, E.; LEVENTON, J.; MARAÑÓN, T.; MILLS, J.; SHORT, C.; STOLTE, J.; VAN DELDEN, H.; VERZANDVOORT, S. Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: a proposed framework. **Ecological Indicators**, v. 67, p. 586-597, 2016b. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.016.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Boletim SNIF 2017**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Serviço Florestal Brasileiro, [2018]. 31 p. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>. Acesso em: 26 mar. 2020.

SHVIDENKO, A.; BARBER, C. V.; PERSSON, R. (Coord.). Forest and woodland systems. In: HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N. (ed.). **Ecosystems and human well-being**: current state and trends: findings of the Condition and Trends Working Group. Washington, DC: Island Press, 2005. p. 585-621. (The Millennium Ecosystem Assessment series). Disponível em <https://www.millenniumassessment.org/en/Condition.html#download>. Acesso em: 2 jul. 2019.

SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; PARRON, L. M.; CHEROBIM, V. F.; MARIOTI, J.; FERRARI NETO, H. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (org.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 71-83. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024321>.

SILVA, B. P. C.; SILVA, M. L. N.; BATISTA, P. V. G.; PONTES, L. M.; ARAÚJO, E. F.; CURI, N. Soil and water losses in eucalyptus plantation and natural forest and determination of the USLE factors at a pilot sub-basin in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 432-442, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016404013216.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997a.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997b.

SILVA, J. J. N.; MELLO, W. Z.; RODRIGUES, R. A. R.; ALVES, B. J. R.; SOUZA, P. A.; CONCEIÇÃO, M. C. G. Nitrogen cycling in tropical forests and eucalyptus plantations in Brazil in the Anthropocene. **Revista Virtual de Química**, v. 10, p. 1792-1808, 2018.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 613-620, 2009.

SILVA, L. N.; FREERSMITH, P.; MADSEN, P. Production, restoration, mitigation: a new generation of plantations. **New Forests**, v. 50, p. 153-168, 2019a. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-018-9644-6.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; NORTON, L. D. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 160-172, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200007.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 67-78, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.033.

SILVA, R. F. B.; BATISTELLA, M.; PALMIERI, R.; DOU, Y.; MILLINGTON, J. D. A. Eco-certification protocols as mechanisms to foster sustainableenvironmental practices in telecoupled systems. **Forest Policy and Economics**, v. 105, p. 52-63, 2019b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.05.016.

SIQUEIRA, G. L. de A. de; LAZZAROTTO, M.; FERNANDES, M.; SILVEIRA, A. C da; LAZZAROTTO, S. R. da S.; CARVALHO FILHO, M. A. da S.; LACERDA, L. G.; QUEIROZ, D. L. de; MIGUEL, O. G. Thermoanalytical evaluation of essential oils of the leaves from Eucalyptus spp susceptible and resistant to *Glycaspis brimblecombei.* **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v. 5, n. 1, 2016. 6 p.

SOARES, A. A. V.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; SILVA, S. R.; LOURENÇO, H. M.; FORRESTER, D. I. Increasing stand structural heterogeneity reduces productivity in Brazilian Eucalyptus monoclonal stands. **Forest Ecology and Management**, v. 373, p. 26-32, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.035

SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; TEIXEIRA, R. S.; FONSECA, S.; VASCONCELOS, A. A.; SOUZA, R. N. Soil organic matter fractions under second-rotation eucalyptus plantations in eastern Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, p. 1-11, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-90882017000100007.

SOLIMAN, E. P.; CASTRO, B. M. C.; WILCKEN, C. F.; FIRMINO, A. C.; DAL-POGETTO, M. H. F. A.; BARBOSA, L. R.; ZANUNCIO, J. C. Susceptibility of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae), a Eucalyptus pest, to entomopathogenic fungi. **Scientia Agricola**, v. 76, p. 255-260, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0043.

SOUCHIE, F. F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/198050984526.

SOUZA, W.; BARBOSA, O. R.; MARQUES, J. A. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with *Eucalyptus*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 677-684, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300029.

SPINELLI-ARAUJO, L.; GREGO, C. R.; BOLFE, E. L. Dados geoespaciais e socioeconômicos na análise da dinâmica florestal em São Paulo. **Engenharia na Agricultura**, v. 23, p. 29-38, 2015.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. D. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K. Efeito estimulante do óleo essencial de eucalipto na germinação e crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 199, 2010. DOI: https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.63.199.

STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX V.; MIDGLEY, P. M. (ed.). **Climate Change 2013**: the physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2019.

STOPPELLI, I. M. B. S.; MAGALHÃES, C. P. Saúde e segurança alimentar: a questão dos agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 91-100, 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000500012.

TAN, B.; GRATTAPAGLIA, D.; WU, H. X.; INGVARSSON, P. K. Genomic relationships reveal significant dominance effects for growth in hybrid Eucalyptus. **Plant Science**, v. 267, p. 84-93, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.11.011.

TAVARES, A.; BEIROZ, W.; FIALHO, A.; FRAZÃO, F.; MACEDO, R.; LOUZADA, J.; AUDINO, L. Eucalyptus plantations as hybrid ecosystems: implications for species conservation in the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 131-139, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.063.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; RONQUIM, C. C.; GARCON, E. A. M.; BAYMA-SILVA, G. Water and vegetation indices by using MODIS products for eucalyptus, pasture and natural ecosystems in the eastern São Paulo state, Southeast Brazil. **Proceedings of Spie, the International Society for Optical Engineering**, v. 10421, p. 1042112-1-1042112-12, 2017. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2277930.

TENGBERG, A.; FREDHOLM, S.; ELIASSON, I.; KNEZ, I.; SALTZMAN, K.; WETTERBERG, O. Cultural ecosystem services provided by landscapes: assessment of heritage values and identity. **Ecosystem Services**, v. 2, p.14-26, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.006.

TEOH, S. H. S.; SYMES, W. S.; SUN, H.; PIENKOWSKI, T.; CARRASCO, L. R. A global meta-analysis of the economic values of provisioning and cultural ecosystem services. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 1293-1298, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.422.

THOMPSON, I. D.; OKABE, K.; PARROTTA, J. A.; BROCKERHOFF, H. J.; FORRESTER, D. I.; TAKI, H. Biodiversity and ecosystem services: lessons from nature to improve management of planted forests for REDD-plus. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, p. 2613–2635, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10531-014-0736-0.

TITO, M. R.; LEÓN, M., C.; PORRO, R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. Belém: ICRAF, 2009. 81 p. (Manual técnico, 11).

TOLEDO, F. H. S. F.; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; B. A. S. D.; VENTURIN, R. P. V.; MACEDO, R. L. G. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 711-716, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA. R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 875-887, 2018. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509832128.

UEOKA, K. D. S. **Balanço de carbono das indústrias de celulose e papel do Brasil**. 2008. 28 f. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Measurements for estimation of carbon stocks in afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism**: a field manual. Bonn: United Nations Climate Change Secretariat, 2015. 70. Disponível em: <www.unfccc.int>.

VERSINI, A.; LACLAU, J.-P.; MARESCHAL, L.; PLASSARD, C.; DIAMESSO, L.A.; RANGER, J.; ZELLER, B. Nitrogen dynamics within and between decomposing leaves, bark and branches in Eucalyptus planted forests. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 101, p. 55-64, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.06.034.

VIEIRA JÚNIOR, N. A.; SILVA, M. A. A. E.; CARAMORI, P. H.; NITSCHE, P. R.; CORREA, K. A. B.; ALVES, D. S. Temperature, thermal comfort, and animal ingestion behavior in a silvopastoral system. **Semina**: Ciências Agrárias, v. 40, p. 403-416, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p403.

VIHERVAARA, P.; MARJOKORPI, A.; KUMPULA, T.; WALLS, M.; KAMPPINEN, M. Ecosystem services of fast-growing tree plantations: a case study on integrating social valuations with land-use changes in Uruguay. **Forest Policy and Economics**, v. 14, p. 58-68, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.08.008.

VIRMOND, E.; ROCHA, J. D.; MOREIRA, R. F. P. M.; JOSÉ, H. J. Valorization of agroindustrial solid residues and residues from biofuel production chains by thermochemical conversion: a review, citing Brazil as a case study. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 2, p. 197-229, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-66322013000200001.

VOIGTLAENDER, M.; BRANDANI, C. B.; CALDEIRA, D. R. M.; TARDY, F.; BOUILLET, J.-P.; GONÇALVES, J. L. M.; MOREIRA, M. Z.; LEITE, F. P.; BRUNET, D.; PAULA, R. R.; LACLAU, J.-P. Nitrogen cycling in monospecific and mixed-species plantations of *Acacia mangium* and Eucalyptus at 4 sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 436, p. 56-67, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.055.

WICHERT, M. C. P.; ALVARES, C. A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; STAPE, J. L. Site preparation, initial growth and soil erosion in *Eucalyptus grandis* plantations on steep terrain. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 117, p. 17-30, 2018. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v46n117.02.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; SOUSA, V. A. Variáveis climáticas relacionadas aos serviços ambientais: estudo de caso da araucária. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. DE; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (org.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 242-247. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024509>.

XAVIER, F. A. S.; MENDONÇA, E. S. Agroforestry for recovering soil organic matter: a Brazilian perspective. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 5, nesp. 1, p. 45-52, 2011.

ZAGATTO, M. R. G.; NIVA, C. C.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SANTOS, A.; NADOLNY, H.; CARDOSO, G. B. X.; BROWN, G. G. Soil invertebrates in different land use systems: how integrated production systems and seasonality affect soil mesofauna communities. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 7, p. 158-169, 2017. DOI: https://doi.org/10.17265/2161-6264/2017.03.002.

ZAGATTO, M. R. G.; PEREIRA, A. P. A.; SOUZA, A. J.; PEREIRA, R. F.; BALDESIN, L. F.; PEREIRA, C. M.; LOPES, R. V.; CARDOSO, E. J. B. N. Interactions between mesofauna, microbiological and chemical soil attributes in pure and intercropped *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 240-247, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.008.

ZALESNY JUNIOR, R. S.; STANTURF, J. A.; GARDINER, E. S.; PERDUE, J. H.; YOUNG, T. M.; COYLE, D. R.; HEADLEE, W. L.; BAÑUELOS, G. S.; HASS, A. Ecosystem services of woody crop production systems. **Bioenergy Researcg**, v. 9, p. 465-491, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s12155-016-9737-z.

ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COSTA, F. de S.; CARVALHO, A. M. **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 53 p. (Embrapa Florestas. Documentos,). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1014351>.

ZANONI, P. R. S.; MAGALHÃES, W. L. E.; HELM, C. V.; LIMA, E. A.; TAVARES, L. B. B.; KESTUR, S. G. Review of ethanol production based on paper sludge: processes and prospects. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 16, p. 1227-1248, 2017.

Apêndice 1

Lista de projetos da Embrapa, obtidas na base de dados Quaesta (1993-2018).

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Ações de P&D para cadeias produtivas locais (APLs) de base florestal na pequena e média propriedade rural no norte-noroeste do Rio Grande do Sul.	Florestchê	CNPF	Produção de fibras.
Agricultura de Precisão (AP) para sustentabilidade do sistema produtivo agrícola, pecuário e florestal brasileiro.	AP3	CNPDIA	Produção de fibras.
Ambiência e Produtividade de Bovinos de Corte sob Sistemas de Integração no Cerrado visando Bem Estar e Sustentabilidade da Produção Pecuária frente às Mudanças Climáticas.	Ambiclima	CNPGC	Produção de fibras, regulação do clima.
Análise da distribuição geoespacial e de aspectos ambientais da eucaliptocultura na bacia do Rio Paraíba do Sul.	Geovale	CNPM	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono, produção de água, conservação de biodiversidade.
Aplicação de biochar em cultivos florestais fase II - incremento em aspectos de qualidade do solo e no crescimento das árvores.	PFCSC	CPAMT	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Aproveitamento do Potencial de Ligninas para a Obtenção de Produtos Químicos Renováveis.	Lignorenov	CNPAE	Controle de resíduos.
Aumento da oferta de matéria-prima de base florestal sustentável para o desenvolvimento sócio-econômico da região do Araripe.	Base Florestal	CPATSA	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo.
Avaliação da eficácia de extratos a base de eucalipto no controle de nematódeos gastrintestinais de ovinos.	AgroEuca	CPPSE	Medicinais.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Avaliação da eficácia de vermífugos a base de óleo essencial de eucalipto no controle de nematódeos gastrintestinais de pequenos ruminantes no município de Sobral, CE.	OEECNPR	CNPC	Controle biológico, recursos medicinais.
Avaliação da sustentabilidade e planejamento ambiental em propriedade do setor silvicultural.	Silvsust	CNPM	Conservação de biodiversidade.
Avaliação de clones de eucaliptos e espaçamentos para a implantação de sistemas silvipastoris em Mato Grosso do Sul: produção pecuária e de madeira.	Nelderfundect	CNPGC	Regulação climática, produção de fibras.
Avaliação de espécies nativas jovens manejadas em distintos arranjos com eucalipto em área de reserva legal e com fertilização química e controle químico herbáceo em área de preservação permanente.	Treegrowth	CNPGC	Conservação de biodiversidade, produção de fibras.
Avaliação de genótipos de eucaliptos e espaçamentos para a implantação de sistemas silvipastoris: produção pecuária e de madeira.	NELDERCNPQ	CNPGC	Regulação climática, produção de fibras.
Avaliação de indicadores e valoração de serviços ambientais em diferentes sistemas de uso da terra.	ServiAmbi	CNPF	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, regulação do clima, conservação de biodiversidade, sequestro de gees e armazenamento de carbono, provisão de água.
Avaliação de lodo resultante do tratamento de efluentes da reciclagem de aparas de papel como insumo florestal.	recicla	CNPF	Aproveitamento de resíduos.
Avaliação de métodos alternativos de controle da mosca-dos-chifres.	ControleMDC	CPAP	Controle biológico.
Avaliação de sistemas silvibananeiros para o norte do Mato Grosso.	Silvban	CNPMF	Produção de fibras, controle biológico, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Avaliação do crescimento e da nutrição do dendezeiro (Elaeis guineensis Jacq.) em sistemas agroflorestais.	Safdende	CPAA	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono, conservação de biodiversidade.
Avaliação do potencial da cinza de biomassa de madeira e da lama de cal como insumo florestal - Fase 2.	Irani	CNPF	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo.
Avaliação do potencial da cinza de biomassa de madeira e da lama de cal como insumo para o plantio florestal.	Irani cal	CNPF	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo.
Avaliação econômica de tecnologias para mitigação de emissões de GEE em sistemas florestais.	GEE Floresta	CNPTIA	Sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Avanços tecnológicos na produção de bio-óleo, gás de síntese, hidrogênio e etanol a partir de biomassa florestal.	Bioóleo	CNPAE	Produção de fibras.
Banco de germoplasma do cavalo lavradeiro de roraima.		Cenargen, Embrapa Roraima	Produção de fibras.
Biochar em solos sob plantio de eucalipto: aspectos agronômicos e ambientais.	Biolyptus	CNPF	Produção de fibras, fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Biodiversidade faunística, regeneração arbórea e análise espacial em propriedade silvicultural e seu entorno.	Biobrotas	CNPM	Conservação de biodiversidade.
Biologia de Thaumastocoris peregrinus Carpintero e Dellapé 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae) em diferentes temperaturas e genótipos de Eucalyptus spp..	BioPercevejo	CNPF	Controle biológico.
Cenários Agrícolas Futuros para Essências Florestais.	Scaf_Flor	CNPF	Produção de fibras, regulação climática.
Cleruchoides noackae no controle biológico de Thaumastocoris peregrinus: ênfase na criação massal e monitoramento da eficiência no campo.	Biocontrol-Perc	CNPF	Controle biológico.
Comportamento ingestivo diurno, conforto térmico e desempenho ponderal de bovinos de corte sob sistemas integrados de produção no Cerrado brasileiro.	Ambibeef	CNPGC	Produção de fibras.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Conforto térmico, produtividade de leite e desempenho reprodutivo de vacas de raças zebuínas em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Cerrado.	ILPFLEITE	CPAC	Regulação climática, produção de fibras.
Consequências da seca sobre a alocação de carbono em plantações de eucaliptos: um experimento de marcação com 13C-CO2 para avaliar os efeitos da adubação potássica.	C13	CNPMA	Fertilidade do solo.
Controle biológico do psilídeo das ponteiras do eucalipto, Blastopsylla occidentalis (Hemiptera: Aphalaridae), com uso do parasitóide Psyllaephagus blastopsyllae (Hymenoptera: Encyrtidae).	Blasto	CNPF	Controle biológico.
Controle genético da alocação e partição de carbono em Eucalyptus.	Carbeuca	CNPF	Produção de fibras.
Definições para a utilização de Cleruchoides noackae no controle biológico de Thaumastocoris peregrinus.	CBPerc	CNPF	Controle biológico.
Desbaste de eucalipto em sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta: efeito no microclima e produtividade.	PODA_ILPF	CPPSE	Regulação climática, produção de fibras.
Descoberta de micro RNAs e análise de regulação da expressão gênica em Eucalyptus sp..	miRNAEucalyptus	Cenargen	Produção de fibras.
Desenvolvimento de bioinseticida para o controle da lagarta do cartuc ho do milho e de outros lepidopteros-praga.		CNPMS, UnB	Controle biológico.
Desenvolvimento de bioinseticidas bacterianos.		Embrapa Rondônia	Controle biológico.
Desenvolvimento de condicionadores de solo e fertilizantes de liberação lenta a partir de co-produtos e resíduos da indústria de óleos e biodiesel.	C pirogênico	CNPS	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo.
Desenvolvimento de dieta artificial para criação massal de Cryptolaemus montrouzieri visando ao controle biológico da cochonilha rosada, Maconellicocus hirsutus.	Cryptodiet	CNPMF	Controle biológico.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Desenvolvimento de Germoplasma florestal para multiplos usos da madeira.	DGFM	CNPF	Produção de fibras.
Desenvolvimento de moléculas verdes da biomassa lignocelulósica para química renovável.	Greenmol	CNPAE	Produção de fibras.
Desenvolvimento de sistemas silvipastoris para os cerrados do Amapá.		Embrapa Amapá	Produção de fibras.
Desenvolvimento de tecnologias para florestas energéticas no oeste do Paraná.	Bioeste	CNPF	Produção de fibras.
Desenvolvimento e mapeamento de microssatélites tetranucleotídeos para caracterização de recursos genéticos e proteção varietal de Eucalyptus.	Tetraeuc	Cenargen	Produção de fibras.
Desenvolvimento e produção de germoplasma de eucalipto apropriados para multiplos usos da madeira.	DGEuca	CNPF	Produção de fibras.
Diagnóstico e controle de insetos-praga e fitopatógenos de plantios de eucalipto no Pará e Maranhão.	PragEuc	CPATU	Controle biológico.
Dinâmica da emissão de gases de efeito estufa e dos estoques de carbono em florestas brasileiras naturais e plantadas - GEE Floresta.	GEEFlorest	CNPF	Sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Dinâmica de C e N em solos de plantios florestais mistos, integrados de produção e áreas sob restauração florestal.	CNPS	CNPS	Sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Dinâmica de C e N em solos de plantios florestais mistos, integrados de produção e áreas sob restauração florestal.	Carbon	CNPS	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Dinâmica de gases de efeito estufa e dos estoques de carbono em florestas naturais e plantadas: práticas silviculturais para mitigação e adaptação às mudanças climáticas.	Saltus	CNPF	Sequestro de gees e armazenamento de carbono, regulação climática.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Efeito do microclima nos componentes de produção animal e Bem Estar em sistemas pecuária-floresta.	Animazon	CPATU	Regulação climática.
Efeito do silício na indução de resistência no eucalipto às condições ambientais (geadas, estresse hídrico, doenças e pragas).	Silicio	CNPF	Produção de fibras.
Emissão de GEE, estoques de carbono e indicadores ambientais no bioma Cerrado.	CPAC	CPAC	Sequestro de gees e armazenamento de carbono, regulação climática.
Emissão de GEE, estoques de carbono e indicadores ambientais no bioma Mata Atlântica.	CNPF	CNPF	Sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Emissão de GEE, estoques de carbono e indicadores ambientais no bioma Pampa.	CPACT	CPACT	Sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Estabelecimento de metodologia para micropropagaçao, regeneraçao e transformaçao genética de plantas lenhosas.		CNPF, CPATSA, Aracruz Florestal	Produção de fibras.
Estabilidade do carbono do biocarvão, processo de envelhecimento no solo e efeito fertilizante de formulações com fontes minerais.		CNPMA	Fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Estratégias inovadoras de melhoramento genético no desenvolvimento de cultivares de Eucalyptus adaptadas às condições edafoclimáticas e competitivas para o agronegócio nacional.	MGE	CNPF	Produção de fibras.
Evantamento, catalogação e zoneamento de pragas associadas a essências florestais plantadas no Brasil.	Sanifor	CNPF	Controle biológico.
Florestas energéticas na matriz de agroenergia brasileira	Florestas	CNPF	Produção de fibras.
Florestas Energéticas: Produção e conversão sustentável de biomassa em energia.	Femab	CNPF	Produção de fibras, controle de resíduos.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Formação de Base Silvicultural para Expansão de Plantios Florestais Necessários à Matriz de Agroenergia Brasileira.	Florestas02	CNPF	Produção de fibras.
Genômica quantitativa da formação da madeira em Eucalyptus.	Genoquant	Cenargen	Produção de fibras.
Gerenciamento e Simulação de Riscos de Pragas para a Cultura do Eucalipto.	Gere	CNPF	Controle biológico.
Identificação de frações de lignina Kraft e derivados com atividades antifúngicas.	Biolig	CNPF	Produção de fibras, recursos medicinais.
Identificação de padrões de marcas epigenéticas associados a variações ambientais e ao estresse hídrico em Eucalyptus.	Epigenética	Cenargen	Produção de fibras.
Intensificação ecológica de plantações de eucaliptos pela associação com espécies leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio.	Eucaleg	CNPAB	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes.
Interações biofísicas em sistemas integrados de produção iLPF e iLP em Rondônia.	IntegraRO	Embrapa-Rondônia	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Leguminosas forrageiras na produção de bovinos em floresta de eucalipto de ciclo longo em São Paulo.	Anhembi	CPPSE	Produção de fibras, ciclagem de nutrientes.
Manejo do capim-piatã (Brachiaria brizantha cv. BRS Piatã) no estabelecimento de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, como estratégia de renovação de pastagens degradadas no Cerrado.	ILPF	CNPGC	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo.
Manejo e biodiversidade de Psylloidea associados ao sistema integração lavoura-pecuária-floresta e à citricultura no Brasil.	PSYBR	CNPF	Controle biológico.
Manejo e controle biológico de pragas exóticas do eucalipto.		CNPF	Controle biológico.
Manejo integrado para o controle de formigas cortadeiras em plantios de Pinus e Eucalyptus.	Formicon	CNPF	Controle biológico.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Melhoramento de Eucaliptos para as Condições Pedoclimáticas do Planalto Catarinense.	PMEST	CNPF	Regulação climática.
Melhoramento genético de espécies florestais de rápido crescimento para produção de madeira serrada e para usos gerais.			Produção de fibras.
Melhoramento genético de eucaliptos para desenvolvimento de cultivares destinadas a múltiplos usos da madeira e de populações com potencial para superar possíveis adversidades ocasionadas por mudanças climáticas.	PMGE	CNPF	Regulação climática, produção de fibras.
Melhoramento genético de Eucalyptus benthamii para regiões sujeitas a baixas temperaturas.	Melben	CNPF	Produção de fibras.
Microclima em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e sua relação com atributos de solo no ecótono Cerrado-Amazônia.	Clima ILPF	CPAMT	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, regulação climática.
Minhocas como indicadoras de propriedades físico-químicas do solo: quando, como e porque isso acontece?	MinhoIndex	CNPF	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, conservação de biodiversidade.
Modernização do núcleo de tecnologia de produtos florestais para avanços em química de biomassa.	Nutecflor	CNPF	Produção de fibras.
Monitoramento e avaliação de estratégias de mitigação de emissões de GEEs em plantios comerciais de eucalipto.	CNPAB	CNPAB	Sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Monitoramento e avaliação de estratégias de mitigação de emissões de GEEs em plantios comerciais de eucalipto.	Mitigation	CNPAB	Prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono, ciclagem de nutrientes, controle de resíduos.
Monitoramento e controle de pragas e doenças florestais.			Controle biológico.
PC10. Bancos de Germoplasma de espécies Florestais.	CNPF	CNPF	Produção de fibras.
Pesquisa e desenvolvimento florestal para a região de Curitibanos, SC.	Florestasc	CNPF	Produção de fibras.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Potencial de clones de eucalipto para produção de energia renovável no Mato Grosso do Sul.	PCEMS	CNPGC	Produção de fibras.
Potencial de sistemas silvipastoris para recria de novilhas leiteiras: características do pasto, consumo de forragem, produção de metano entérico e desempenho animal.	SSPNOV	CNPGL	Regulação climática, sequestro de gees e armazenamento de carbono.
Processos quarentenários para introdução, criação e estabelecimento de bioagentes exóticos de controle em laboratório e de monitoramento em campo no âmbito do projeto cooperativo de monitoramento e manejo de pragas exóticas em florestas de eucalipto do PROTEF/IPEF.	Quareuca	CNPMA	Controle biológico.
Programa de desenvolvimento de germoplasmas de espécies vegetais perenes para multiplos usos.	Progem	CNPF	Produção de fibras.
Prospecção de demandas tecnológicas, análise de políticas públicas e avaliação econômica, social e ambiental da produção florestal de eucalipto em regiões de novas fronteiras no Brasil Central.	EucaBRC	CNPF	Produção de fibras.
Prospecção de demandas tecnológicas, análise de políticas públicas e avaliação econômica, social e ambiental da produção florestal de eucalipto em regiões de novas fronteiras no Brasil Central.		CNPF	Produção de fibras.
Prova de conceito de um método de seleção precoce de clones de Eucalyptus assistida por marcadores moleculares.	POP_MAS	Cenargen	Produção de fibras.
Seleção de espécies e definição de parâmetros técnicos para plantios de espécies florestais nativas para produção de madeira para móveis e energia no Ceará.	Flonace	CNPAT	Produção de fibras, conservação de biodiversidade.
Seleção e manejo de espécies arbóreas de rápido crescimento na região Semi-árida.			Produção de fibras.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Seleção e manejo de espécies arbóreas de rápido crescimento na região Semi-árida.		CNPF, CNPTC, CPATSA	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo.
Seleção Genômica Ampla (SGA) em Eucalyptus: desenvolvimento de modelos de SGA ultra-precoce de E. benthamii tolerante a geada.	SGA-EUC	Cenargen	Produção de fibras.
Seletividade de herbicidas e nutrição por boro em espécies florestais e culturas anuais em consórcio com Brachiaria ruziziensis.	Plan-Dan-ILPF	CNPGL	Produção de fibras.
Sistemas agroflorestais e florestais com potencial para incrementar a oferta de bens e serviços ambientais em áreas degradadas do Estado do Rio de Janeiro.	Eucaleg	CNPS	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, conservação de biodiversidade.
Sistemas de introdução de genes e análise da expressão gênica em plantas de interesse econômico.			Produção de fibras.
Sistemas integrados de produção pecuária: influência no microclima, dinâmica de água no solo e resposta produtiva da pastagem.	Clima ILPF	CPPSE	Regulação climática, produção de água.
Sustentabilidade de sistemas de produção de leite baseados em integração lavoura-pecuaria-floresta em biomas de cerrado e transição.	ILPF Leite	CPAMT	Produção de fibras, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo.
Tecnologias para utilização de Cleruchoides noackae no controle biológico clássico de Thaumastocoris peregrinus.	TCB_Perc	CNPF	Controle biológico.
Tecnologias silviculturais para produção de florestas energéticas - TSPFenergia.		CNPF	Produção de fibras.
Transferência de Tecnologia em sistemas de iLPF nos estados CE, RN, PB, PE, AL, SE e BA.		CPATC	Produção de fibras.

Continua...

Título do projeto	Sigla	Unidade líder	Serviços ecossistêmicos abordados no projeto
Transformação genética de Eucalyptus sp. com construçõe. gênicas contendo os genes AtDREB1A e AtDREB2A visando tolerância à seca e ao frio.	Eucadreb	CNPF	Produção de fibras.
Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo com vista a implantação de plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas para estudos da dinâmica de sequestro de carbono e valoração ambiental.	Eucaleg	CNPS	Produção de fibras, ciclagem de nutrientes, prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo, sequestro de gees e armazenamento de carbono, conservação de biodiversidade.
Zoneamento, perdas e controle da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil.	ferrugem	CNPF	Controle biológico.

15

Eucalipto para restauração florestal com renda para propriedades rurais familiares

Edilson Batista de Oliveira
Letícia Penno de Sousa
Luiz Marcos Feitosa Santos
David Gobor
Alberto Carlos Moris
Gracie Abad Maximiano
Vinicius Silva Tina

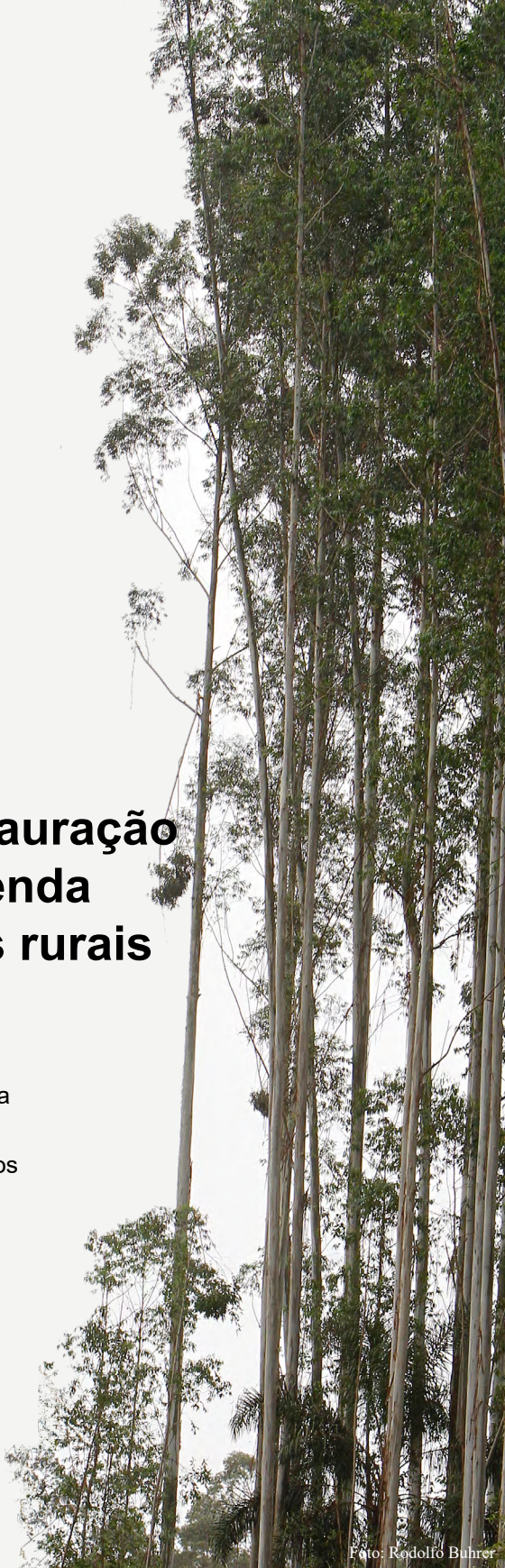


Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O desenvolvimento de espécies florestais nativas em sub-bosques de eucalipto ocorre com frequência em plantios comerciais quando estes têm densidades de copas menores que permitem a disponibilidade de luz suficiente para o desenvolvimento das nativas.

Um exemplo de sub-bosque de nativas em plantação de eucalipto é apresentado na Figura 1. A plantação com 14 anos em 2005, no município de Ibema, PR, em que o sub-bosque regenerou-se naturalmente e não foi definido nenhum regime de manejo voltado para o crescimento das nativas e para sua integridade na colheita do eucalipto.

Foto: Carlos Roberto Strapasson

Figura 1. Plantação de eucalipto com sub-bosque de espécies nativas, em Ibema, PR.

Vários trabalhos científicos pesquisaram a regeneração natural sob plantios florestais comerciais e indicaram que, dependendo do manejo, um povoamento de eucalipto pode facilitar a regeneração da vegetação nativa no sub-bosque, possibilitando a restauração florestal (Silva Júnior et al., 1995, Sartori et al., 2002; Saporetti Júnior et al., 2003; Neri et al., 2005; Ferreira et al., 2007, Ávila et al., 2007; Souza et al., 2007, Souza Filho et al., 2007).

Viani et al. (2010), analisando trinta e cinco destes trabalhos sobre regeneração natural em sub-bosques de plantações florestais, encontraram resultados bastante distintos, indicando que a riqueza, a densidade e a estrutura da regeneração natural nestas condições sofrem forte influência de fatores tais como densidade de copas e disponibilidade de luz no sub-bosque, idade do plantio, espécie florestal plantada,

distância de remanescentes de vegetação nativa, manejo das florestas plantadas e histórico de utilização da área.

Reflorestamentos com espécies nativas podem envolver custos que produtores rurais, principalmente os familiares, não têm condições de arcar. Assim, a regeneração natural e o crescimento de espécies nativas em sub-bosque de eucalipto serviram de base para um modelo destinado a recuperar áreas de pastagens degradadas e convertê-las em florestas.

Especificamente no noroeste do estado do Paraná, Oliveira et al. (2011b) avaliaram uma área remanescente de *Corymbia citriodora* plantada no espaçamento de 3,0 m x 2,0 m e colhida aos sete anos de idade, no município de São Pedro do Paraná, noroeste do Paraná. Após sete anos de crescimento das rebrotas do eucalipto e de regeneração natural da flora, foram encontradas 53 espécies distintas distribuídas em 21 famílias, sendo que seis espécies são exóticas na formação da Floresta Estacional Semidecidual. A estimativa do número total de indivíduos de espécie nativa regenerados por hectare foi 4.721, sendo 45% com altura entre 2 m e 4 m, 18% entre 4 m e 8 m e 3% acima de 8 m. O número de rebrotas de *C. citriodora* foi estimado em 733, com altura média de 15 m. A área original, de três hectares, era ocupada com pastagem de braquiária (*Brachiaria* spp.).

Neste capítulo, serão apresentados detalhes de um projeto baseado em um modelo de recomposição florestal em que espécies nativas plantadas e, também, regeneradas naturalmente, entre faixas de plantio e em sub-bosques de eucaliptos, de tal forma que estes funcionem como espécie facilitadora para o estabelecimento das nativas e possibilitem renda aos proprietários.

Projeto "Implantação e manejo de florestas em pequenas propriedades no estado do Paraná"

O projeto teve por premissa a utilização de plantios florestais comerciais como facilitadores da restauração ambiental. Assim, entre os anos de 2006 e 2008, em 187 propriedades rurais familiares foram realizados reflorestamentos mistos com espécies nativas plantadas entre faixas de plantações de eucalipto, em seis municípios no noroeste do estado do Paraná, em área da Floresta Estacional Semidecidual, sob domínio da Mata Atlântica. As propriedades tinham menos de 30 hectares e, em cada uma, foram reflorestados de 1 ha a 5 ha. As áreas reflorestadas totalizavam 379 ha e eram principalmente de pasto e degradadas.

Estes plantios foram a base do projeto "Implantação e manejo de florestas em pequenas propriedades no estado do Paraná", inserido no Programa Paraná Biodiversidade, da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sema-PR).

Coube à Embrapa Florestas dar o suporte técnico na elaboração do modelo e delineamento dos reflorestamentos. O projeto envolveu a Emater-PR, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), as Secretarias de Estado do Planejamento e Coordenação Geral (SEPL) e da Agricultura e do Abastecimento (SEAB).

O projeto teve a denominação de "Implantação e manejo de florestas em pequenas propriedades no estado do Paraná". Foi coordenado pelo Programa Paraná Biodiversidade, da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sema), envolvendo a Emater, Embrapa Florestas, IAP, SEPL e Seab.

Os plantios foram apoiados com 50% do investimento pelo Programa Paraná Biodiversidade, na forma de mudas e insumos. Os outros 50% ficaram ao encargo dos participantes do Projeto, na forma de mão de obra, a título de contraparte. A seleção de produtores participantes deu-se após consultas a organizações de pequenos produtores, representações de assentados da reforma agrária da região, bem como autoridades locais e regionais quanto ao interesse em participar do projeto.

O objetivo principal do projeto foi promover a biodiversidade local por meio da criação de corredores que conectassem fragmentos florestais ao longo de bacias hidrográficas. Para isto, buscou-se difundir atividades produtivas ecologicamente sustentáveis, mediante a implantação de módulos agroecológicos, com práticas que conciliassem a conservação e a produção. O manejo de cada reflorestamento segue os princípios de sucessão florestal. Assim, a floresta nativa é restabelecida pela indução inicial de uma mistura de espécies exóticas e espécies nativas pioneiras, servindo-se para o desenvolvimento de um ambiente favorável ao crescimento de espécies nativas secundárias iniciais e tardias. Essas espécies eram escolhidas visando à formação de bancos de conservação genética de nativas ameaçadas de extinção (Schaitza et al., 2008).

Localização

A localização é na região do extremo noroeste do estado do Paraná, dentro da Mesorregião Geográfica do Noroeste Paranaense, abrangendo seis municípios: Querência do Norte, Santa Cruz de Monte Castelo, Porto Rico, Loanda, São Pedro do Paraná, Santa Isabel do Ivaí. Esta área está localizada entre as coordenadas geográficas 22°39' e 23°18' latitude Sul e entre 52°52' e 53°43° longitude Oeste. (Figura 2).

As áreas do projeto são discretas e localizam-se nas propriedades dos pequenos produtores participantes e nos assentamentos de reforma agrária, totalizando 379 ha, distribuídos conforme mostra a Tabela 1.

Fonte: Leituras Regionais, IPARDES, 2004

Figura 2. Municípios abrangidos pelo projeto.

Tabela 1. Distribuição de produtores por município e áreas discretas reflorestadas no Projeto.

Municípios cobertos pela área do projeto	nº de produtores	Área estabelecimento (ha)	Área reflorestada (ha)
Santa Cruz de Castelo Branco	21	451,1	32,7
Porto Rico	24	185,9	37,0
Santa Izabel do Ivaí	12	186,7	21,5
Loanda	43	283,25	70,6
São Pedro do Paraná	20	341,9	29,7
Querência do Norte: PA Luís Carlos Prestes	43	876,47	104,0
Querência do Norte: PA Antônio Tavares	14	339,5	67,5
Querência do Norte: PA Margarida Alves	10	213,9	16,0
Total	187	2.878,72	379,0

Características da região

Na mesorregião Noroeste encontra-se a formação Arenito Caiuá, de origem eólica, que se depositou sobre o derrame do Trapp e deu origem a solos com baixos teores de argila, textura predominantemente arenosa e, consequentemente, baixa capacidade

de retenção de água, com moderada a baixa fertilidade e facilmente sujeitos à erosão (Muzilli, 1996).

Esta mesorregião caracteriza-se por apresentar uma situação ambiental das mais degradadas no Estado, sendo esse quadro consequência direta do intenso desmatamento e da forma inadequada do uso atual e anterior da terra, aliados à fragilidade edáfica imposta pelo Arenito Caiuá. Sua ocupação, iniciada a partir da colonização regional, em meados do século passado, deu-se com a implantação da cultura do café e posteriormente com culturas anuais, impondo desde então problemas ambientais, por se basearem em modelos de terraceamento ineficientes no combate à erosão para essa região em particular (Fidalski, 1998).

O clima da região caracteriza-se pelo tipo Cfa, cuja temperatura média no mês mais frio é inferior a 18 °C e no mês mais quente superior a 22 °C, verões quentes, inverno seco, concentração de chuvas no verão, mas sem período seco definido (Iapar, 2000). A cobertura florestal original era composta pela Floresta Estacional Semidecidual Submontana.

Descrição do projeto

Detalhes do projeto foram publicados na Série Documentos da Embrapa (Schaitza et al., 2008) envolvendo os vinte e dois técnicos que trabalharam na sua concepção, implantação e acompanhamento. Alguns trechos deste documento serão reproduzidos a seguir.

Modelo de reflorestamento e manejo florestal

O modelo de reflorestamento utilizado foi formatado como um projeto MDL florestal. Basicamente, o manejo de cada reflorestamento segue os princípios de sucessão florestal natural preconizados por Budowski (1965) e considerados em trabalhos e publicações de Kageyama e Castro (1988), Ferretti et al. (1995), Kageyama e Gandara (2000) e Carpanezzi e Carpanezzi (2006). A indução inicial de uma composição de espécies exóticas e nativas pioneiras serve de base para o desenvolvimento de um ambiente favorável para o crescimento e regeneração natural de espécies nativas secundárias iniciais e tardias. As exóticas e nativas pioneiras são desbastadas ao longo do tempo, deixando espaço para o crescimento e a regeneração natural das nativas mais importantes.

As espécies exóticas utilizada foram *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. As espécies nativas foram selecionadas em função de sua importância ecológica e representatividade ecotípica na região, seu potencial para manejo e para a produção sustentável de madeira e sementes, e seu papel na sucessão de espécies na paisagem. Foram priorizadas as que, sob manejo sustentável, produzem madeira e sementes de

maior valor comercial. Os plantios foram realizados em esquemas com uma faixa interna a duas faixas de eucalipto (Figura 3).

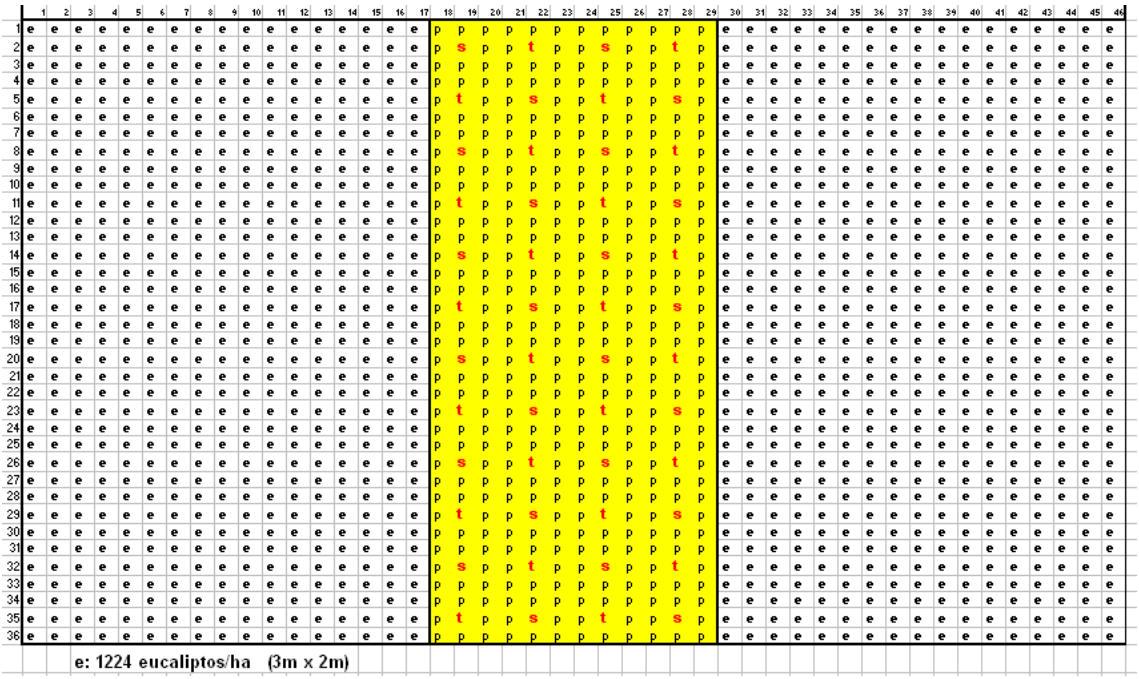


Figura 3. Representação esquemática do modelo de plantio do Projeto.
(p) Pioneiras: 0-33%, (s) Secundárias iniciais: 17-50%, (t) Secundárias tardias: 35-50% ou Climácicas: 0-15%.

As espécies florestais selecionadas seguiram o princípio de sucessão florestal no processo de formação de uma floresta natural. Estas se classificam em espécies pioneiras (p), secundárias iniciais (s), secundárias tardias (t) e climácicas (Budowski, 1965; Carpanezzi; Carpanezzi, 2006).

Os plantios avaliados foram realizados em áreas de pasto com baixa produtividade, por meio de plantio direto, em que a pastagem foi dessecada e as mudas plantadas manualmente com o auxilio de chucho.

O regime de manejo dos reflorestamentos previa três desbastes nos eucaliptos (5, 10 e 15 anos), com corte raso no vigésimo ano (Tabela 2).

Tabela 2. Manejo florestal e simulação da produção de madeira de eucalipto no modelo de reflorestamento proposto.

Ano	Desbastes				Número de plantas de eucaliptos remanescentes
	Número de plantas de eucaliptos desbastadas	Volume de toras com diâmetro > 25 cm (m^3)	Volume de toras com diâmetro < 25 cm (m^3)	Volume total (m^3)	
0	-	-	-	-	1111
5	590	0	96	96	500
10	198	13,7	75,5	89,2	300
15	99	44,1	18,6	62,7	200
20	200	219,3	8,6	227,9	0
Total	-	277,1	198,7	475,8	

Os desbastes do eucalipto dão espaço para a regeneração natural e o crescimento das espécies nativas plantadas, e proporcionam um ganho financeiro para os proprietários. Ao final do ciclo de 20 anos do projeto, todas as árvores exóticas já estarão colhidas. As nativas pioneiras plantadas devem ter findado o seu ciclo natural, permanecendo apenas as nativas secundárias iniciais e tardias plantadas, junto com as nativas regeneradas naturalmente.

Carbono florestal

Os plantios foram formatados como um projeto de carbono, sob o âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto, que veio a ser comercializado com empresas da iniciativa privada, por meio de uma cooperativa criada para este fim, a CooperCarbono. Os estoques de carbono selecionados incluiam apenas a biomassa do eucalipto referente a tronco, folhas e galhos. Para as estimativas desta biomassa e carbono foi utilizado o software SisEucalipto (Oliveira, 2011a).

Foi criada a cooperativa para gerenciar as vendas de Carbono (Coopercarbono - Cooperativa de Produtores de Carbono no Noroeste do Paraná). Logo no início do Projeto, o Carbono de um dos produtores foi vendido, sendo emitido um certificado ao comprador (Figura 4). Outros três casos de venda ao mercado voluntário foram concretizados.

Entretanto, com os problemas da dívida em países da União Europeia, que teve início em 2008, muitos compradores potenciais do Carbono do Projeto praticamente saíram do mercado. E no mercado voluntário interno, nenhuma nova venda foi concretizada.

CooperCarbono

Cooperativa de Produtores Familiares de Carbono do Paraná

CERTIFICADO DE NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO
Fórum Global de Sustentabilidade

Certificamos que o gás carbônico emitido pelo evento Fórum Global de Sustentabilidade, realizado em 3 de junho de 2008, organizado pela SENAI / FIEP, estimado na quantidade de 92 toneladas de CO_2, está sendo neutralizado pela área reflorestada de 0,35 ha, de propriedade de Manuel Lourenço dos Santos, no Município de Porto Rico, Paraná, coordenadas centrais: Latitude S 00° 49' 34'', Longitude O 00° 15' 53''.

Subscrevem abaixo o Diretor Presidente e o Diretor Secretário da Cooperativa de Carbono de Produtores Familiares do Paraná pelo monitoramento do carbono, com apoio das seguintes instituições: EMBRAPA Floresta pelo modelo florestal, EMATER-PR pela efetivação do plantio e pela organização da cooperativa, IAP pelo registro do SISLEG e fornecimento das mudas nativas, SEMA-PR pela assessoria na comercialização do CO_2 e PR-BIO pela promoção do projeto de carbono.

Querência do Norte, 3 de junho de 2008

Giovani Braun
Diretor Presidente
da CooperCarbono

Gilberto Kondo
Diretor Secretário
da CooperCarbono

Figura 4. Modelo de Certificado de compensação de emissão de Carbono.

Objetivos do projeto

O Projeto concentrou seus objetivos na viabilização da conversão de áreas de pastagem degradada em floresta, com retorno econômico aos produtores rurais. Assim, conforme Schaitza et al. (2008), os objetivos foram:

- Promover biodiversidade por meio da implantação de plantios para a reconstituição de florestas nativas em pequenas propriedades familiares, em seis municípios da região Noroeste do estado do Paraná, Brasil.
- Formatar estes plantios como um projeto de carbono, sob o âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto, buscando a inclusão de pequenos produtores no mercado de carbono.
- Utilizar plantios mistos, plantando espécies nativas, algumas delas ameaçadas de extinção, juntas com espécies exóticas de rápido crescimento, em áreas de pasto, lavoura e regiões degradadas.
- Possibilitar a implantação deste módulo por 187 pequenos produtores familiares, sendo 67 de assentamentos de reforma agrária, que deverão servir de modelo para a replicação do projeto em outras regiões.
- Manejar cada reflorestamento seguindo os princípios de sucessão florestal natural, desbastando exóticas e nativas pioneiras ao longo do tempo, deixando

espaço para o crescimento e a regeneração natural das nativas, de forma que permaneçam no final apenas espécies nativas.
- Ter estes reflorestamentos como áreas de preservação de espécies nativas da região.
- Possibilitar o aumento de renda aos produtores pela venda da madeira colhida no manejo, bem como de sementes de espécies nativas.
- Estimular a atividade de produção madeireira na região.
- Gerar modelo que facilite a replicação em grande escala do sistema ora proposto em outras regiões.

Resultados e discussão

Com a finalização do Programa Paraná Biodiversidade, em 2009, as instituições Emater, Embrapa Florestas, Sema, IAP e Seab assumiram a continuidade do projeto, acompanhando as áreas em que o mesmo foi implantado.

Resultados de inventário dos eucaliptos e das nativas aos cinco anos de idade

No ano de 2013, foram realizados inventários dos módulos do Projeto em cinco propriedades. Os plantios tinham cinco anos de idade.

Os resultados da produtividade e da rentabilidade econômica dos eucaliptos foram apresentados por Oliveira et al. (2014) e serão mostrados na sequência, incluindo os valores de Carbono sequestrado.

Cinco módulos cultivados com *Eucaliptus grandis* foram avaliados, dois no município de Santa Cruz do Monte Castelo (A e B), dois em São Pedro do Paraná (C e D) e um em Porto Rico (E). Os volumes de madeira (m^3/ha) foram calculados considerando um fator de forma de 0,45. Foram realizadas prognoses da produção para 7, 9 e 11 anos, utilizando-se o software SisEucalipto. Foram medidas duas parcelas de 400 m^2 para cada propriedade, que serão representadas pelos números 1 e 2, na sequência das letras de A a E das propriedades. Os resultados são apresentados por hectare do sistema (Tabela 3). Assim, deve ser levado em conta que as faixas de eucalipto ocuparam 74% da área e as espécies nativas plantadas 26%.

Em média, a sobrevivência dos eucaliptos aos cinco anos foi 74,9% (Tabela 3), ou seja, 923 árvores por hectare do plantio misto, o que equivale a 1.247 árvores por hectare de eucalipto puro. Apenas a área B1 apresentou densidade abaixo de mil árvores por hectare. Nos cinco locais, cada árvore ocupou em média 8,02 m^2, variando de 6,8 m^2 a 10,5 m^2. Estes valores estão dentro de faixa viável para plantações de

Tabela 3. Sobrevivência (%), Árvores por hectare, Altura média (m) e Diâmetro à Altura do Peito – DAP (cm), Volume (m^3/ha) e Carbono - CO_2Eq (T/Ha), de *E. grandis* no Arenito Caiuá.

Local	Sobrev	Árv/ha	Alt. Med.	DAP	Volume 5 anos	CO_2Eq 5 anos	Volume 7 anos	CO_2Eq 7 anos
A1	64,2	788	16,3	13,6	83,4	79,2	133,4	126,7
A2	68,5	844	15,6	12,6	73,1	69,4	119,8	113,8
B1	57,0	703	14,6	13,4	64,5	61,3	103,1	97,9
B2	68,0	839	14,2	12,9	70,3	66,8	109,2	103,7
C1	78,0	962	16,4	13,4	100,8	95,8	154,2	146,5
C2	88,0	1086	17,2	13,9	128,0	121,6	191,7	182,1
D1	82,0	1012	19,6	14,2	140,8	133,8	217,2	206,3
D2	76,0	937	19,0	14,8	137,0	130,1	205,4	195,1
E1	85,0	1050	17,2	13,1	108,6	103,2	170,1	161,6
E2	82,0	1012	17,1	13,0	103,4	98,2	162,5	154,4
Média	74,9	923	16,7	13,5	101,0	95,9	156,6	148,8

eucalipto, mas comprometem a produção inicial em sítios mais pobres. Há vantagem para a regeneração natural de espécies nativas, mas o primeiro desbaste será pouco produtivo.

O Projeto estimava povoamentos aos cinco anos com 21,0 m de altura média, 15,0 cm de DAP e sobrevivência de 90%. O local D é o que mais se aproxima destes valores de altura e DAP, mas há perda de produção devido aos valores de sobrevivência de 82% e 76%. Em média, há perda de 25% (43% a 15%) na sobrevivência, 20% (6,6% a 32,4%) na altura e 10% (1,3% a 16%) no DAP.

Estas diferenças levam a variações de volumes de 64,5 m^3 a 140,8 m^3 por hectare de plantio mixto, que correspondem a 87,2 m^3 e 190,3 m^3 por hectare de eucalipto puro. Em relação ao esperado pelo Projeto, a perda média em volume e de Carbono armazenado é de 46,7% (25,6% a 65,8%). Estas perdas decorrem, basicamente, devido a fortes períodos de seca em plena estação chuvosa, nos três primeiros anos do Projeto, e a ocorrência de formigas cortadeiras durante a fase inicial. O material genético utilizado mostrou grande variabilidade entre plantas. Entretanto, o desenvolvimento encontrado indica a necessidade de manejo diferente para cada povoamento, para manter ou aumentar a eficiência na obtenção dos resultados propostos pelo Projeto.

Oliveira et al. (2014) concluíram que a produtividade dos eucaliptos pode ser considerada satisfatória, tem potencial para aumentar e melhorar significativamente a renda das áreas convertidas, com valores superiores aos obtidos com agricultura e pecuária naquelas propriedades cujos solos possuem cerca de 85% de areia. Também deve ser levado em conta que os produtores não tinham experiência com plantações florestais, que a implantação foi por meio de plantio direto, além da ocorrência de seca nos anos iniciais do cultivo.

Nativas

Aos 2,5 a 3,0 anos de idade, os técnicos da Emater, supervisores responsáveis pelo Projeto em cada Município, visitaram todos os módulos e constataram um elevado percentual de mortalidade das plantas, devido principalmente aos períodos de estiagem prolongados ocorridos nos dois anos iniciais. Entretanto, observou-se a existência de muita regeneração natural de nativas, principalmente nas faixas em que foram plantadas, em solos de melhor qualidade. Áreas com menor desenvolvimento dos eucaliptos propiciaram regeneração de muitas espécies arbustivas, consideradas de grande importância para elevar o teor de Carbono do solo, como forma de aumentar sua capacidade de armazenamento de água e dar condições para o desenvolvimento de outras espécies, como ilustrados na Figura 5.

Figura 5. Módulo do Projeto em Santa Cruz do Monte Castelo, com regeneração de espécies arbustivas.

Entre os cinco locais avaliados aos cinco anos de idade do Projeto, há muita heterogeneidade no crescimento e regeneração natural das espécies nativas. A perda das mudas plantadas pelo projeto foi superior a 90%, devido aos períodos secos prolongados ocorridos em três anos sucessivos. Na Tabela 4, conforme Oliveira et al. (2015) são apresentados os resultados do inventário dos locais D1 e D2, em São Pedro do Paraná. Foram encontradas 15 espécies com bom desenvolvimento em altura e DAP, que garante a sobrevivência das mesmas nos períodos comuns de seca na região.

Estas 15 espécies representam 28% do total de espécies encontradas por Oliveira et al. (2011b), no mesmo município, e o número de árvores por hectare representa 26% do total de árvores encontradas no mesmo trabalho. Considerando que, no presente trabalho, as espécies concentraram-se na faixa entre os eucaliptos, e que esta

Tabela 4. Espécies encontradas no módulo do projeto Eucalipto-Nativas no noroeste do Paraná.

Espécie	Nome científico	Árvore ha^{-1}	DAP (cm)	Altura (m)	Vol 0,26 ha^{-1} (m^3)
açoita-cavalo	*Luehea divaricata* Mart.	18	2,3	2,86	0,0205
amendoim-bravo	*Platypodium elegans*	200	2,4	3,44	0,2954
canafístula	*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.	255	1,7	2,62	0,1455
cedro	*Cedrela fissilis* Vell	55	2,6	1,39	0,0369
coração-de-negro	*Poecilanthe parviflora* Benth	18	10,7	6,55	0,9732
farinha-seca	*Albizia hasslerii* (Chodat) Burr.	18	4,2	3,68	0,0834
feijão-cru	*Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl.	255	2,3	2,54	0,2544
guajuvira	*Patagonula americana*	36	2,3	3,19	0,0457
gurucaia	*Parapiptadenia rigida* (Benth) Brenan.	91	3,6	3,76	0,3262
leiteiro	*Sapium glandulatum (Vell.)* Pax.	18	1,6	2,29	0,0073
mamica-de-porca	*Zanthoxyllum rhoifolium* Lam.	18	3,5	4,09	0,0659
pau-d´alho	*Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms.	91	2,3	2,45	0,0879
sapuva	*Machaerium Stipitatum*	36	1,8	2,86	0,0248
vacum	*Allophylls edulis* (St. Hil.) Radlk.	109	1,6	3,27	0,0668
Total		1218	3,1	3,20	2,4340

faixa representa 26% de um hectare, os padrões de ocorrência de espécies e de número de árvores se assemelham nas duas pesquisas.

Entretanto, os outros locais avaliados apresentaram baixa taxa de regeneração natural, fato atribuído à fraca fonte de sementes, seja na forma de banco de sementes no solo ou na vegetação adulta circundante aos plantios, consequência do intenso desmatamento da Floresta Estacional Semidecidual, resultando em intensa fragmentação das florestas e redução drástica da diversidade genética e de espécies nestes fragmentos.

As formações obtidas com regeneração natural de espécies nativas devem ter enriquecimento com o plantio de outras espécies de ocorrência na região, com dificuldade na proliferação natural. O módulo apresentado na Figura 3 é restrito em espécies florestais nativas, mas é um exemplo de vegetação inicial que pode facilitar o enriquecimento com espécies desejadas para a restauração.

O projeto após dez anos

Conforme ressaltam Oliveira et al. (2015), as mudanças na legislação ambiental, especificamente sobre o Código Florestal, levaram a uma série de alterações em relação ao formato original do projeto. Para seguir o que prescrevia a legislação para Reserva Legal do início do projeto, todas as árvores exóticas deveriam estar cortadas ao final do ciclo de 20 anos. Entretanto, a Lei nº 12.651, de 25 maio 2012, alterou esta exigência,

conforme o Art 61, §13, inciso IV, possibilitando o plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% da área total a ser recomposta, no caso dos imóveis a que se refere o inciso V do caput do art. 3º, que trata da pequena propriedade ou posse rural familiar. Isto alterou a estratégia da maioria dos produtores que passaram a optar por não realizar desbastes e efetuar a colheita total do eucalipto aos sete anos, com posterior condução de rebrota. Por outro lado, a mortalidade em torno de 30%, ocorrida em vários povoamentos, dispensou o primeiro desbaste, possibilitando verificar os efeitos da menor densidade populacional na regeneração natural e no crescimento das nativas.

O corte raso dos eucaliptos com posterior condução de rebrota, desejado por muitos produtores, como forma de aumentar a rentabilidade econômica, torna o modelo semelhante ao sistema avaliado por Oliveira et al. (2011b), com adição da faixa de nativas.

O comportamento dos eucaliptos, em praticamente todas as propriedades que implantaram os reflorestamentos, tem ficado dentro dos limites dos resultados obtidos nas cinco propriedades avaliadas mencionadas na Tabela 2. Assim, o Projeto tem servido de estímulo à introdução do componente arbóreo nas propriedades rurais da região, principalmente na forma de sistemas integrados.

Tem sido comum a expansão do plantio de linhas de eucalipto em pastagens, visando, principalmente, à melhoria de produtividade dos rebanhos pelo bem estar animal.

Considerações finais

O modelo apresentado possibilita a recomposição da vegetação nativa com acréscimo de renda aos produtores.

Áreas com modelos mistos, semelhantes ao aqui apresentado, podem ser utilizadas para fins de constituição de servidão ambiental, melhorar a biodiversidade, o ciclo hidrológico e o micro-clima regional. Assim, o modelo apresentado auxilia a implantação e condução destes sistemas.

Por oferecer opções de renda aos agricultores e possibilitar, com baixo custo, a recomposição de áreas com espécies nativas, o projeto apresenta facilidades de adoção e vem servindo de modelo para outros Estados.

O projeto teve como resultado indireto uma forte promoção do cultivo do eucalipto na região, ao tornar-se um grande aliado à pecuária tradicional em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), por possuir requisitos desejáveis como: rápido crescimento, fuste alto e copas pouco densas, fácil obtenção de mudas, práticas culturais conhecidas, boa acomodação do gado para conforto térmico, liberação dos

animais com um ou dois anos de plantio e obtenção de madeira para diferentes finalidades, propiciando opção para diferentes mercados.

Referências

ÁVILA, A. L. de; ARAÚJO, M. M.; ALMEIDA, C. M. de; LIPERT, D. B.; LONGHI, R. Regeneração natural em um sub-bosque de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 696–698, 2007.

BUDOWSKI, G. N. Distribution of tropical American rain forest species in the light of succession processes. **Turrialba**, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.

CARPANEZZI, A. A.; CARPANEZZI, O. T. B. **Espécies nativas recomendadas para o Estado do Paraná, em solos não degradados**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 57 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 136). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/284301.

FERREIRA, W. C.; FERREIRA, M. J.; MARTINS, J. C. Regeneração natural de espécies arbustivo arbóreas no sub-bosque de *Eucalyptus grandis* em Mata Ciliar, no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 1, p. 579-581, 2007.

FERRETTI, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; ÁRBOEZ, G. F.; SANTOS, J. D.; BARROS, M. I. A.; LORZA, R. F.; OLIVEIRA, C. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v. 3, n. 7, p. 73-77, 1995.

FIDALSKI, J. Sistema de terraceamento agrícola proposto para o noroeste do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 20, n. 3, p. 313-316, 1998.

IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina, 2000.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. Revegetação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. (ed.). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: Ed. da USP: Fapesp, 2000. p. 2-24.

KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ALTERNATIVAS PARA O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA. **Anais**. Belém: [s.n.], 1988. p. 1-35.

MUZILLI, O. Plano integrado para o manejo e conservação do solo em microbacia hidrográfica piloto: a experiência do Paraná na região do Arenito Caiuá. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. (ed.). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: IAPAR, 1996. p. 97-119.

NERI, A. V.; CAMPOS, E. P.; DUARTE, T. G.; MEIRA NETO, J. A. A.; SILVA, A. F.; VALENTE, G. E. Regeneração de espécies nativas lenhosas sob plantio de *Eucalyptus* em área de Cerrado na Floresta Nacional de Paraopeba, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, n. 2, p. 369-376, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000200020.

OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, L. M. F.; GOBOR, D.; MORIS, A. C.; TINA, V. Produtividade de plantações de eucalipto intercaladas com espécies nativas em áreas de pastagens degradadas no noroeste do estado do Paraná. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas. **Anais**: resumos expandidos. Curitiba: Malinovski, 2014. p. 337-340.

OLIVEIRA, E. B. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011a. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216). Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/309728.

OLIVEIRA, E. B.; SOUSA, L. P.; RADOMSKI, M. I. Regeneração natural em sub-bosque de *Corymbia citriodora* no noroeste do estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 41, n. 2, p. 377-386, 2011b. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i2.21887.

OLIVEIRA, E. B.; SOUSA, L. P.; SANTOS, L. M. F.; GOBOR, D.; MORIS, A. C.; MAXIMIANO, G. A.; TINA, V. S. Sistemas mistos de espécies florestais nativas com eucalipto em propriedades rurais familiares na região Noroeste do estado do Paraná. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 1-372. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024226.

SAPORETTI JÚNIOR, A. W.; MEIRA NETO, J. A. A.; ALMADO, R. Fitossociologia de sub-bosque de cerrado em talhão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no município de Bom Despacho, MG. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 905-910, 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600017.

SARTORI, M. S.; POGGIANI, F.; ENGEL, V. L. Regeneração da vegetação arbórea nativa no sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith. localizado no Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 86-103, 2002.

SCHAITZA, E. G.; SHANG, M.; OLIVEIRA, E. B. de; LIMBERGER, E.; SANTOS, L. M. F. dos; SHIMIZU, J. Y.; GOBOR, D.; SIQUEROLO, E. F.; MAXIMIANO, G. A.; AGUIAR, A. V. de; SOUSA, L. P. de; BIANCO, A. de J.; SANTOS, E. S. dos; PASSARELLI, I.; FREITAS, J. C. de; DOMINGUES, R.; GONÇALVES, A. R.; GARBELINI, W. A.; SANTOS, J. F. dos; MORIS, A. C.; SABOT, A. L.; SANTOS, A. S. dos. **Implantação e manejo de florestas em pequenas propriedades no Estado do Paraná**: um modelo para a conservação ambiental, com inclusão social e viabilidade econômica. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 49 p. (Embrapa Florestas. Documento, 167). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/315298.

SILVA JÚNIOR, M. C.; SCARANO, F. R.; CARDEL, F. S. Regeneration of an Atlantic Forest formation in the understorey of a *Eucaliptus grandis* plantation in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 11, p. 147-152, 1995. DOI: https://doi.org/10.1017/S0266467400008518.

SOUZA FILHO, P. C.; BECHARA, F. C.; CAMPOS FILHO, E. M.; BARRETO, K. D. Regeneração natural após diferentes níveis de perturbação em sub-bosque de *Eucalyptus* sp. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 1, p. 96-98, 2007.

SOUZA, P. B.; MARTINS, S. V.; COSTALONGA, S. R.; COSTA, G. O. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea do sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 533- 543, 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000300019.

VIANI, R. A. G.; DURIGAN, G.; MELO, A. C. G. A regeneração natural sob plantações florestais: desertos verdes ou redutos de biodiversidade? **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 533-552, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/198050982067.

16

Eucaliptos e abelhas

Luis Fernando Wolff
Guilherme Schnell e Schuhli

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Existe uma relação muito estreita, antiga e bem conhecida entre abelhas e eucaliptos. As abelhas utilizam os eucaliptos como fonte de recursos florais (Figuras 1 e 2), beneficiando-se e, ao mesmo tempo, garantindo polinização cruzada, sementes viáveis e diversidade genética vegetal. Quanto mais longas e abundantes forem as floradas dos bosques de eucaliptos, e quanto mais perto delas estiverem as colmeias, maior será a produtividade dos apiários (Wolff, 2018a).

Foto: Luis Fernando Wolff

Figura 1. Abelha melífera africanizada recolhendo néctar secretado pelos nectários florais.

Foto: Luis Fernando Wolff

Figura 2. Abelha Tubuna (*Scaptotrigona bipunctata*) em inflorescência de Eucalipto. Prudentópolis, PR.

Nesta relação de afinidade com a atividade de criação de abelhas, o grande desenvolvimento da silvicultura do eucalipto no Brasil deve ser visto não só sob o aspecto produtivo direto, de madeira, celulose e energia, mas também sob o ponto de vista sistêmico, no qual outras cadeias produtivas de impacto socioambiental são potencializadas. Os 5,7 milhões de hectares atualmente plantados com eucaliptos (IBÁ, 2017)

são um recurso fundamental para a produção apícola nacional, permitindo a integração de duas cadeias produtivas.

Dessa forma, a criação de abelhas integrada ao plantio de eucaliptos apresenta-se como atividade economicamente vantajosa e ambientalmente sustentável, adequando-se aos sistemas de manejo e pouco interferindo na ocupação do solo e na mão de obra das atividades do estabelecimento rural. Sistemas de produção integrada são estratégias de uso da terra nos quais diferentes espécies vegetais e animais se desenvolvem em associações vantajosas entre si. Nesse contexto, a criação de abelhas se insere como atividade geradora de efeitos positivos econômicos, ambientais e sociais, fatores de relevância para o desenvolvimento regional, agronegócio, empreendedorismo e inclusão social. A importância dos plantios de eucalipto para a apicultura brasileira foi evidenciada, por exemplo, em 1975, quando os níveis severos de desmatamento da flora do Cerrado comprometeram o que o País já tinha alcançado em sua produção apícola. Nesta situação, o eucalipto e a laranja foram a única opção para a manutenção dos apiários de São Paulo, no mesmo patamar de produtividade (Ferreira; De Jong, 2001).

Tanto a apicultura (a criação de abelhas melíferas africanizadas *Apis mellifera*: Apini: Apidae: Hymenoptera: Insecta) (Figura 3), quanto a meliponicultura (a criação de espécies de abelhas nativas sem ferrão Meliponini: Apidae: Hymenoptera: Insecta) (Figuras 4 e 5) têm crescido como atividades econômicas no Brasil, elevando-o à condição de exportador de mel e colocando-o entre os maiores produtores mundiais desse precioso alimento nutracêutico (Wolff, 2018b). Contudo, além de despontar como produto de exportação que já afeta a balança comercial brasileira, o mel e sua cadeia produtiva apresentam-se como fator de ocupação e renda para centenas de milhares de cidadãos e contribuem para a segurança alimentar e para o fomento ao associativismo e cooperativismo (Wolff, 2018b).

Foto: Luis Fernando Wolff

Figura 3. Apiário em área de plantio de eucalipto.

Foto: Guilherme Schnell e Schühli

Figura 4. Meliponicultor com caixas racionais de Mandaçaia (*Melipona quadrifasciata*). Talhão de eucalipto ao fundo, no centro. Prudentópolis, PR.

Foto: Guilherme Schnell e Schühli

Figura 5. Módulo de discos de crias em caixa racional de Uruçú (*Melipona eburnea*) instalada próxima a plantio de eucalipto.

No Brasil há 350 mil apicultores, mas a cadeia apícola nacional envolve mais de 1 milhão de pessoas, chegando a ser a principal fonte de renda familiar em algumas localidades. O País produz cerca de 40 mil toneladas de mel anualmente, obtidas a partir de 2,5 a 3 milhões de colmeias espalhadas pelo território nacional. A cadeia produtiva do mel é responsável por exportações que trouxeram, no período de 2011 e 2015, valores entre US$ 52 milhões e US$ 98 milhões anuais para o Brasil (Abemel, 2016).

Adequada a diversos sistemas de produção integrada, a criação de abelhas pouco interfere na ocupação de área das outras atividades, não impõe rigidez quanto ao momento de execução de suas atividades e se ajusta às outras tarefas da propriedade.

Mel, cera, própolis, pólen, geléia real e apitoxina são os produtos da colmeia, cada qual com vasta gama de aplicações nutricionais e farmacêuticas. Dessa forma, a criação de abelhas tem muito a contribuir para o desenvolvimento rural sustentável, podendo ser considerada atividade indispensável aos sistemas de produção agrícola, por meio da qual fica garantida a polinização dos cultivos, a produção de excelente

alimento para o consumo direto (Figuras 6, 7 e 8) ou agroindustrial e a geração de renda às famílias (Ceccon, 1999; Wolff; Sevilla-Guzmán, 2013; Santarosa et al., 2014; Cerqueira; Figueiredo, 2017).

Foto: Luis Fernando Wolff

Figura 6. Néctar depositado no favo e em processo de transformação em mel pelas abelhas.

Foto: Luis Fernando Wolff

Figura 7. Mel em processo inicial de desidratação e maturação pelas abelhas na colmeia.

Foto: Luis Fernando Wolff

Figura 8. Mel em processo final de desidratação e sendo operculado com cera pelas abelhas.

Como poucos outros setores da produção primária e agroindustrial, a criação de abelhas consegue manter interligados os aspectos sociais, econômicos e ambientais (Both et al., 2009; Amaral, 2010; Santarosa, 2014), caracterizando-se como uma ferramenta especialmente apropriada para promover o desenvolvimento em comunidades desfavorecidas (Rovira, 2010; Wolff; Gomes, 2015; Winkel et al., 2016). Assim, investimentos no setor da apicultura e meliponicultura são excelente estratégia para a geração de renda e extraordinária área de atuação para cooperativas já organizadas e grupos de apicultores e apicultoras em formação.

Processos de organização entre produtores vêm crescendo em todo o território nacional, onde o sucesso dos empreendimentos apícolas é alavancado pelo clima favorável e pelas abundantes floradas. Nesse sentido, reflorestamentos com eucalipto apresentam excelente potencial à criação de abelhas e caracterizam áreas altamente recomendáveis à apicultura e meliponicultura. A favorabilidade dos bosques de eucaliptos, como destacam Wolff e Filippini-Alba (2017), atinge também uma faixa de bordadura de até três quilômetros próximo dos mesmos, o que é especialmente relevante quando estiverem junto a áreas de cobertura vegetal com pouco valor para as abelhas, como formações de restinga, campos salinos e aluviais, afloramentos rochosos ou dunas. Assim como as abelhas melíferas africanizadas, as abelhas nativas sem ferrão são visitantes florais generalistas, visitando uma ampla gama de espécies de plantas e se beneficiando das espécies de eucaliptos introduzidas no Brasil (Heard, 1999). Entre os elementos listados por Heard (1999) quanto ao tipo de planta ou flor preferido pelas abelhas sem ferrão, os eucaliptos se enquadram muito bem, pois apresentam inflorescências densas, flores pequenas, de coloração branca ou amarela, com tubos de corola mais curtos que o aparelho bucal das abelhas, permitindo seu alcance aos nectários. O eucalipto, por raramente necessitar tratamentos químicos, apresenta especial potencial para a certificação de mel orgânico, somando-se às áreas de florestas naturais ainda existentes.

Quanto mais rápido e eficiente for o transporte dos recursos florais pelas abelhas desde os eucaliptos até as colmeias, maior será o desenvolvimento e o rendimento das colônias (Marques, 1984; Wolff, 2018a). Isto porque a eficiência econômica de seus vôos de coleta de néctar e pólen fica cada vez menor à medida que aumentam as distâncias e obstáculos a serem ultrapassados. Assumindo um raio de ação de 3 km (Dadant, 1979; Camargo et al., 2002), a área de abrangência do apiário atinge a gigantesca marca de 2.826 ha. Todavia, considerando-se o raio de ação nos picos de safra, quando a distância efetivamente trabalhada pelas abelhas é de 500 m a 1.000 m no entorno do apiário, então a área abarcada pelas abelhas corresponde de 78 ha a 314 ha ao redor do apiário. Apesar de menores, são áreas de trabalho bastante significativas, adequadas quando se trata de reflorestamentos industriais de eucalipto, que geralmente cobrem grandes extensões da paisagem.

Algumas espécies e híbridos de eucaliptos são de especial importância, em função da rapidez com que começam a produzir flores, da quantidade e tamanho de flores que produzem, da intensidade de seus fluxos de néctar ou da concentração de açúcares dos mesmos. Há espécies e híbridos que apresentam um longo período de floração, abrangendo vários meses com oferta incessante de néctar e pólen, ou que apresentam mais de um período de floração durante o ano. Tais variações são de grande valor apícola e especial interesse para a criação de abelhas. Quanto aos sistemas de plantio e manejos, baixas densidades de árvores e corte apenas após longos períodos de crescimento são benéficos aos empreendimentos apícolas, com excelente oferta de floradas às abelhas (Wolff, 2018a).

Variedades clonadas, desenvolvidas e direcionadas para a produção madeireira, por outro lado, costumam ter menor valor apícola do que as demais, em função da padronização de plantas, do vigor e intensidade no seu crescimento vegetativo ou da demora no ano de sua primeira floração. Variedades transgênicas de eucaliptos, por sua vez, são especialmente problemáticas à criação de abelhas, não apenas pelo risco ainda desconhecido ao desenvolvimento das larvas e à biologia das abelhas, mas pelo prejuízo direto na comercialização do mel em mercados exigentes, após sua eventual identificação como produto contendo pólen transgênico (Borges, 2010; Carvalho, 2014; Filippini-Alba; Wolff, 2016).

A localização correta do apiário em relação aos plantios de eucalipto pode garantir melhores resultados produtivos e maior tranquilidade e saúde às abelhas e à vizinhança. Para isso, o conhecimento por parte dos apicultores sobre o entorno e a região é importante, observando ainda a movimentação de máquinas, pessoas e animais próximo ao local escolhido. Os aspectos fundamentais a serem levados em conta para a escolha do local ideal ao apiário, de forma produtiva e duradoura, são: - florações próximas, abundantes e complementares; - água de qualidade, que não seja contaminada nem estagnada; - insolação direta pela manhã nas colmeias, mas proteção contra o calor excessivo no período da tarde; - abrigo contra correntes de vento forte; - ausência de contaminações ambientais; - fácil acesso, por trás da linha de colmeias e em qualquer época do ano; - segurança para transeuntes e animais, guardando distância de criações, casas, estradas e locais de circulação, com um mínimo de 400 a 500 metros para áreas de campo aberto e de 200 a 300 metros para áreas com mata (Wolff, 2018b).

Mesmo em reflorestamentos de grande porte, não se deve extrapolar o número de colmeias no apiário (Wiese, 1995), mantendo-se uma quantidade proporcional à capacidade melífera da microrregião ao redor do apiário e à capacidade de trabalho dos apicultores, realizando-se todo o serviço no apiário sem muita demora e partindo, em seguida, para outro apiário, em outro ponto do reflorestamento (Wolff, 2018b). Um mínimo de 10 a 15 colmeias povoadas e um máximo de 25 a 30 podem propiciar um bom balanceamento entre garantia de produtividade e garantia de tranquilidade (Wolff; Mayer, 2012), tanto para abelhas quanto para apicultores.

Assim, a intensidade e duração da florada de eucaliptos, aliada à sua qualidade e extensão, são determinantes na viabilidade dos empreendimentos apícolas em um dado reflorestamento. O néctar é a matéria-prima energética da qual dependem diretamente a produção de mel e cera e a prosperidade do enxame. O pólen, complementar ao mel, é a fonte de proteína das abelhas, fundamental para a nutrição da rainha, das crias e das abelhas adultas. Marchini et al. (2003), analisando o desenvolvimento de enxames de abelhas melíferas africanizadas em florestamentos com cinco diferentes espécies, encontraram maiores áreas de ovos e larvas em *Corymbia citriodora* e menores em *Eucalyptus grandis*, ficando *E. terenticornis*, *E. camaldulensis* e *E. urophylla* como intermediários. Especialmente no caso das abelhas sem ferrão, além do néctar e do pólen também são coletadas resinas do eucalipto, um recurso usado nas estruturas de construção, manutenção e defesa de ninhos de meliponíneos (Leonhardt et al., 2011). A disponibilidade destas resinas pelas espécies de eucaliptos pode estar associada a uma estratégia de atração de abelhas para a polinização (fornecendo resina em suas inflorescências) ou para dispersão de sementes (fornecendo resina em suas cápsulas de sementes).

Um dos maiores problemas da apicultura, sobre o qual apicultores e meliponicultores têm pouco ou nenhum controle, é o regime fenológico ou comportamento das florações nas áreas de abrangência de suas colmeias. Isso porque os fatores climáticos típicos de cada estação e localidade, como temperatura, umidade relativa do ar, ventos e intensidade da radiação solar, exercem influência direta sobre a intensidade e a sazonalidade da oferta de néctar e pólen às abelhas (Wolff, 2008). *Eucalytus dunnii*, por exemplo, mostra maior florescimento quando submetido a invernos mais rigorosos e maiores latitudes (Graça, 1987). Esta espécie, junto com *E. benthamii*, são tolerantes a baixas temperaturas e próprias para prover floradas em regiões frias e altitudes elevadas (Paludzyszyn Filho; Santos, 2011). Em geral, eucaliptos tendem a florescer e frutificar mais à medida que se afastam do Equador e se aproximam da correspondência latitudinal da área de ocorrência natural desta árvore, que é 28-38º Sul (Graça, 1987). Também o tempo em que uma flor de eucalipto permanece aberta em período de antese é variável e característico de cada espécie. De acordo com Graça (1987), aos 5 a 8 dias de abertura, as flores completam sua fertilização e cessam a produção de néctar. Uma estratégia para melhor conhecer e monitorar tais efeitos é a elaboração de calendários apícolas locais, construídos com metodologia participativa e envolvendo agricultores, apicultores e técnicos extensionistas. Nestas ocasiões, os eucaliptos são sistematicamente apontados como excelente fonte de florada apícola (Wolff, 2018a), corroborando com muitos especialistas na área (Higa et al., 2000; Marchini et al., 2003; Valverde, 2009; Santarosa et al., 2014; Cerqueira; Figueiredo, 2017).

Do ponto de vista apícola, os eucaliptos são de extremo valor para a resiliência e sustentabilidade das criações de abelhas, pois tendem a apresentar maior estabilidade de floradas do que as plantas herbáceas e arbustivas, abarcando períodos mais

longos de oferta floral e apresentando menor suscetibilidade a secas prolongadas (Wolff; Mayer, 2012; Wolff, 2014). Além disso, a composição do néctar apresenta alta concentração e diversidade de minerais, originando, com isso, méis mais ricos e nutritivos aos consumidores finais (Komatsu et al., 2002; Bastos et al., 2002; Marchini et al., 2004; Krolow et al., 2017). Méis de eucaliptos tendem a uma coloração âmbar, mais escura do que os méis de flores do campo ou laranjeiras (Figura 9) (Cerqueira; Figueiredo, 2017; Krolow et al., 2017). De acordo com Bastos et al. (2002), um perfil de 21 compostos voláteis, distribuídos de maneira muito específica, e um aroma e sabor com notas de maior intensidade, caracterizam o mel de eucaliptos. Sua classificação botânica se dá a partir dos grãos de pólen contidos no mel (Bastos et al., 2002; Osterkamp; Jasper, 2013) e agrega valor ao mel de eucaliptos, um produto diferenciado e muito apreciado no mercado consumidor (Marchini et al., 2003; Borges, 2010; Osterkamp; Jasper, 2013; Santarosa et al., 2014).

Foto: Luis Fernando Wolff

Figura 9. Coloração âmbar é frequente entre os méis de eucaliptos no Brasil.

Na região Sul, por meio dos calendários apícolas locais, evidenciou-se que a maior abundância de florações ocorre na primavera e início do verão, no período de setembro a janeiro, e que a escassez está no fim do outono e no inverno, especialmente de maio a julho, com pequenas variações regionais (Wolff, 2018a). A variabilidade de espécies de eucalipto no Brasil e sua ampla fenologia permitem combinações que componham um pasto apícola abundante para vários períodos do ano, inclusive quando outras fontes florais são escassas, como nos meses de inverno. Apesar das diferenças fenológicas do eucalipto no Brasil, resultantes da imensa diversidade territorial, combinando climas, solos e biomas, podem ser generalizadas referências iniciais para o planejamento de pastos apícolas. A escolha e plantio de certas espécies ou variedades de eucaliptos podem ser esquematizados para amplificar a capacidade de manutenção das

colônias e sua produção de mel, reforçando os períodos de entrada e saída das safras ou mesmo suprindo as colmeias com florações o ano inteiro. Desenhos específicos podem ser trabalhados para maximizar a produção de mel, incluindo distribuições espaciais e proteção climática às colmeias.

Nesse contexto, espaçamentos de plantio, fertilidade do solo, desbastes e disponibilidade de luz acarretam efeitos sobre o florescimento do eucalipto. Aqui, sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais contribuem como estratégias de uso da terra que permitem a inserção de abelhas e a diversificação produtiva e de renda, envolvendo atividades agrícolas, pecuárias e florestais na mesma área, em cultivos consorciados, em sucessão ou em rotação (Ceccon, 1999; Wolff; Sevilla-Guzmán, 2013; Santarosa et al., 2014). Os calendários apícolas orientam, ainda, quanto aos cortes seletivos, roçadas, derrubadas e manejos de biomassa a serem conduzidos nas florestas e agroecossistemas.

Assim, aprofundar conhecimentos sobre as espécies e variedades de eucaliptos de maior valor apícola e suas épocas de floração em cada localidade é vital ao incremento planejado das criações de abelhas. Entretanto, a união de conhecimentos e a cooperação entre produtores de mel e reflorestadores são também ferramentas de crescimento coletivo, não apenas técnico. Isso porque a cooperação, conforme apontam Cattani (2003) e Sevilla-Guzmán (2006), tem também um caráter político, opondo-se à perspectiva individualista e sinalizando para um movimento coletivo e inclusivo, conectado às redes de cooperação social para o manejo dos recursos naturais (Calle-Collado, 2011). Possibilita a organização produtiva, econômica e social, orientando a economia local para o desenvolvimento endógeno (Ploeg, 2012) e abrindo caminhos para a autogestão e a autossuficiência das comunidades (Leff, 2004). Nesse contexto, o associativismo apícola representa um caminho concreto para a sustentabilidade e viabiliza a reprodução econômica e social dos produtores rurais de pequeno e médio portes (Ceccon, 1999; Wegner et al., 2015; Wolff; Winkel, 2017).

Os próprios apicultores e apicultoras consideram a sua organização coletiva como estratégica para poderem vislumbrar a superação das suas dificuldades e alavancar seu crescimento técnico e econômico (Winkel et al., 2016; Wolff; Winkel, 2017). Apicultura e meliponicultura representam uma forma complementar de uso sustentável das florestas de eucalipto, compatível com as atividades madeireiras já consolidadas. Porém, no processo de aprimorar políticas públicas para a cadeia produtiva do mel associada aos plantios de eucalipto, é preciso observar as reais necessidades dos apicultores e preservar o conceito emancipador da 'construção de autonomia' (Holz-Giménez et al., 2010; Ploeg, 2012), conduzindo a novas formas de progredir e dar suporte a uma governança sustentável dos recursos naturais (Rist, 2007). Isto porque sistemas apícolas têm a capacidade de potencializar a geração e a adoção de tecnologias autóctones, em consonância com a especificidade ecossistêmica de cada localidade, para o desenvolvimento de suas produções (Sevilla-Guzmán, 2004).

Associados à produção florestal de eucalipto, sistemas apícolas consolidam uma nova estratégia de sustentabilidade ambiental, social e econômica. Tornam-se exemplo de uma racionalidade caracterizada pela sustentabilidade e pela inovação em manejo de agroecossistemas, aumentando o desempenho global do sistema de produção.

Referências

ABEMEL. Associação Brasileira dos Exportadores de Mel. **Setor apícola brasileiro em números**: inteligência comercial. 2016. Disponível em: https://www.brazilletsbee.com.br/inteligencia_comercial_abemel_abril_2016.pdf. Acesso em: 15 jul. 2019.

AMARAL, A. M. **Arranjo produtivo local e apicultura como estratégias para o desenvolvimento do sudoeste de Mato Grosso**. São Carlos: UFSCar, 2010.

BASTOS, D. H. M.; FRANCO, M. R. B.; DA SILVA, M. A. A. P.; JANZANTTI, N. S.; MARQUES, M. Q. M. Composição de voláteis e perfil de aroma e sabor de méis de eucalipto e laranja. **Food Science and Technology**, v. 22, n. 2, p. 122-129, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612002000200004.

BORGES, J. A. R. Mel natural: Brasil no mercado mundial. **Revista Agroanalysis**, p. 13, maio, 2010.

BOTH, J. P.; KATO, O. R.; OLIVEIRA, T. F. Perfil socioeconômico e tecnológico da apicultura no município de Capitão Poço, estado do Pará, Brasil. **Amazônia**: Ciência e Desenvolvimento, v. 5, n. 9, 2009.

CALLE-COLLADO, A. Aproximaciones a la democracia radical. In: _____. **Democracia radical**: entre vínculos y utopías. Madrid: Icaria, 2011.

CAMARGO, R. C. R.; PEREIRA, F. M.; LOPES, M. T. R. **Produção de mel**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de produção, 3).

CARVALHO, C. Eucalipto transgênico ameaça mel orgânico. **O Globo**, 28 out. 2014. Disponível em: https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/eucalipto-transgenico-ameaca-mel-organico-14379745. Acesso em: 28 out. 2014.

CATTANI, A. D. **A outra economia**. Porto Alegre: Veraz, 2003.

CECCON, E. Levantamento do nível tecnológico utilizado por parceiros no plantio de eucaliptos de uma empresa reflorestadora na região de Divinópolis, Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 23, n. 3, p. 301-310, 1999.

CERQUEIRA, A.; FIGUEIREDO, R. A. Percepção ambiental de apicultores: desafios do atual cenário apícola no interior de São Paulo. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 17-21, 2017.

DADANT, C. **La colmena y la abeja melifera**. Montevideu: Hemisferio Sur, 1979. 936 p.

FERREIRA, M. E. T.; DE JONG, D. Profitable apiculture with Africanized bees in Brazil. In: INTERNATIONAL APICULTURAL CONGRESS, 37., 2001, Durban. **Proceedings** [...]. Durban: Apimondia, 2001.

FILIPPINI-ALBA, J. M.; WOLFF, L. F. **Zoneamento agroecológico florístico para a apicultura e meliponicultura no bioma pampa**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 98 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 425). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1084526.

GRAÇA, M. E. C. Avaliação do florescimento e do potencial de produção de sementes de *Eucalyptus dunnii* Maid. no Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 14, p.1-12, 1987.

HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination. **Annual Review of Entomology**, n. 44, p. 183-206, 1999

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 31 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 54). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/290994.

HOLZ-GIMÉNEZ, E.; BUNCH, R.; VASQUEZ, J. I.; WILSON, J.; PIMBERT, M. P.; BOUKARY, B.; KNEEN, C. Grassroots voices: linking farmers‟ movements for advocacy and practice. **The Journal of Peasant Studies**, v. 37, n. 1, p. 203–236, 2010. DOI: https://doi.org/10.1080/03066150903499943.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017 = Report 2017**. Brasília, DF, 2017. 80 p.

KOMATSU, S. S.; MARCHINI, L.C.; MORETI, A. C. C. C. Análises físico-químicas de amostras de méis de flores silvestres, de eucalipto e de laranjeira, produzidos por Apis mellifera L., 1758 (Hymenoptera, Apidae) no estado de São Paulo: conteúdo de açúcares e de proteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 143-146, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612002000200007.

KROLOW, A. R.; WOLFF, L. F.; FERRI, N. M. L.; SAALFELD, M. H.; MACIEL, R. C. **Qualidade do mel gerado em apiários da região Sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 37 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 282). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085417.

LEFF, E. **Racionalidad ambiental**: la reapropiación social de la naturaleza. México: Siglo XXI, 2004. 536 p.

LEONHARDT, S. D.; WALLACE, H. M.; SCHMITT, T. The cuticular profiles of Australian stingless bees are shaped by resin of the eucalypt tree *Corymbia torelliana*. **Austral Ecology**, v. 36, n. 1, p. 537–543, 2011.

MARCHINI, L. C.; MORETI, A. C. C.; SILVEIRA NETO, S. Características físico-químicas de amostras de mel e desenvolvimento de enxames de *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera, Apidae), em cinco diferentes espécies de eucaliptos. **Boletim Ceppa**, v. 21, n. 1, p. 193-206, 2003.

MARCHINI, L. C.; SODRÉ, G. S.; MORETI, A. C. A.; OTSUK, I. P. Composição físico-química de amostras de méis de Apis mellifera L. do estado de Tocantins, Brasil. **Boletim de Indústria Animal**, v. 61, n. 2, p. 101-114, 2004.

MARQUES, A. N. Localização e instalação do apiário. In: WIESE, H. (coord.). **Nova apicultura**. 5. ed. Guaíba: Agropecuária, 1984. cap. 4. p. 151-173.

OSTERKAMP, I. C.; JASPER, A. Análise palinológica em méis da região do vale do Taquari, Rio Grande do Sul, Brasil: ferramenta para a definição de origem floral. **Destaques Acadêmicos**, v. 5, n. 3, 2013.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas**: resultados e perspectivas. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 214). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898045.

PLOEG, J. D. The drivers of change: the role of peasants in the creation of an agro-ecological agriculture. **Agroecología**, v. 6, p. 47–54, 2012.

RIST, S. The importance of bio-cultural diversity for endogenous development. In: HAVERKORT, B.; RIST, S. **Endogenous development and bio-cultural diversity**: the interplay of worldviews, globalization and locality. Leusden: Compas, 2007. p. 14-23.

ROVIRA, J. La apicultura como herramienta de desarrollo: proyecto Bee Honey. In: CONGRESO NACIONAL DE APICULTURA, 6., 2010. **Resumos** [...]. Córdoba: Don Folio, 2010. 93 p.

SANTAROSA, E. Gestão da propriedade rural. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 127-132. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

SANTAROSA, E.; PINTO JUNIOR, J. E.; GOULART, I. C. G. R.; PENTEADO JUNIOR, J. F. Importância socioeconômica e principais usos do eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 13-22. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

SEVILLA-GUZMÁN, E. Asociatividad y apicultura: orientaciones para un desarrollo local sustentable desde la agroecología. In: SIMPOSIUM MUNDIAL COOPERATIVISMO Y ASOCIATIVIDAD DE PRODUCTORES APÍCOLAS, 1., 2004. Mendoza. [**Actas**… Mendoza: s.n., 2004]. 12 p.

SEVILLA-GUZMÁN, E. **De la sociología rural a la Agroecología**. Barcelona: Icaria, 2006.

VALVERDE, S. R. Esclarecimentos sobre as plantações de eucalipto no Brasil. **CIFlorestas**. Texto técnico. Viçosa, MG: CIFlorestas, 2009.

WEGNER, J.; FARIAS, B. F.; WOLFF, L. F. O cooperativismo apícola frente aos desafios da sustentabilidade agroecológica em Pedro Osório. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2015. Resumo apresentado no IX Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2015, Belém, PA.

WIESE, H. **Novo manual de apicultura**. Guaíba: Agropecuária, 1995. 292 p.

WINKEL, T. F.; WOLFF, L. F.; BEZERRA, A. J. A. Cooperativismo apícola e desenvolvimento endógeno em Canguçu, RS. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 6., 2016, Pelotas. **Ciência**: empreendedorismo e inovação: anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 128-130.

WOLFF, L. F. **Aspectos físicos e ecológicos a serem considerados para a correta localização de apiários e instalação das colméias para a apicultura sustentável na região sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 47 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 238). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/746889.

WOLFF, L. F. **Construção participativa de calendários de floração apícola da região Sul do RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018a. 44 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 300). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1101751.

WOLFF, L. F.; FILIPPINI-ALBA, L. **Zoneamento agroecológico florístico para a apicultura e a meliponicultura no Bioma Mata Atlântica/RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 110 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 452). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085190.

WOLFF, L. F.; GOMES, J. C. C. Beekeeping and Agroecological Systems for Endogenous Sustainable Development. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 39, n. 4, p. 416-435, 2015.

WOLFF, L. F.; MAYER, F. A. **A apicultura no desenvolvimento agroecológico da reforma agrária no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 84 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 351). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/952694.

WOLFF, L. F.; SEVILLA-GUZMÁN, E. Sistemas apícolas como herramienta de diseño de métodos agroecológicos de desarrollo endógeno en Brasil. **Agroecología**, v. 7, n. 2, p. 123-132, 2013.

WOLFF, L. F. **Sistema de produção de mel para a região Sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018b. 88 p. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de produção, 26).

WOLFF, L. F. **Sistemas agroforestales apícolas**: instrumento para la sustentabilidad de la agricultura familiar, asentados de la reforma agraria, afrodescendientes quilombolas e indígenas guaraníes. 2014. 427 f. Tese (Doutorado) - Universidad de Córdoba, Córdoba, Espanha.

WOLFF, L. F.; WINKEL, T. F. **Cooperativismo apícola e construção social de mercados na região Sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 65 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 424). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1081885.

17

A Embrapa no campo da nanotecnologia aplicada ao eucalipto

Washington Luiz Esteves Magalhães
Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O campo de estudo da nanotecnologia vem sendo desenvolvido ao longo dos últimos anos de maneira ampla e significativa nas dependências da Embrapa Florestas. Entre as diversas investigações realizadas junto a colaboradores internos e externos à Embrapa, ressalta-se a produção de nanoestruturas a partir de vegetais, com especial interesse em nanocelulose, nanolignina e nanosílica; modificação de superfícies por descargas de plasma a frio; estudos de liberação lenta de agroquímicos por meio de formulações contendo nanoestruturas e desenvolvimento de nanocompósitos a base de materiais lignocelulósicos.

A obtenção e aplicação de nanoestruturas de celulose – nanofibrilas ou nanocristais - têm sido amplamente investigada a partir da utilização de polpas celulósicas industriais e, ou resíduos florestais de interesse do setor, com foco em aplicações para o ramo de embalagens alimentícias e farmacêuticas, produção de papel, reforço de nanocompósitos e produção de filmes para a área biomédica. Já a lignina e suas nanoestruturas têm especial interesse devido à origem da sua matéria-prima, o licor-negro, subproduto da indústria de polpa e papel, o qual tem despertado um substancial movimento da comunidade científica, incluindo a própria Embrapa Florestas, para o desenvolvimento de novos materiais, tais como compósitos biodegradáveis, aditivos para resinas, biocidas e fibras de carbono, a partir dos conceitos de biorefinaria, economia circular e bioeconomia.

O bio-óleo de pirólise rápida, em parceria com indústrias do setor florestal e madeireiro, também tem sido outro alvo de investigação por parte da Embrapa Florestas no que tange ao campo de nanotecnologia. Já a modificação em escala nanométrica da superfície de materiais por descargas de plasma a frio é outro tema de interesse no que tange ao campo de estudo da nanotecnologia dentro da Embrapa Florestas. A ativação e o revestimento de madeira e produtos à base de madeira para a obtenção de superfícies hidrofóbicas ou hidrofílicas, e o endurecimento de serras-de-fita para incremento da durabilidade por plasma a frio são alguns dos temas investigados pela instituição.

A ampla gama de atuações da Embrapa Florestas no campo da nanotecnologia é fortalecida pelo interesse da sociedade no desenvolvimento de produtos que atendam com características sustentáveis, redução e/ou mitigação na geração de resíduos e, simultaneamente, a possibilidade de produtos com alto valor agregado à população. Nesse contexto, ressalta-se a significativa investigação científica e transferência de tecnologia realizadas pela Embrapa Florestas, a partir de nanoestruturas de celulose advindas de espécies do gênero *Eucalyptus* como matéria-prima.

Síntese do estado da arte do assunto abordado com destaque das contribuições da Embrapa Florestas

Obtenção de nanocelulose e suas aplicações

A nanotecnologia e a nanociência referem-se ao controle e manipulação de materiais em dimensões nanométricas. Tais materiais podem ser obtidos diretamente da natureza. Por exemplo, Magnetita (Fe_3O_4) em escala nanométrica e com morfologia bem definida e específica pode ser obtida por meio da bactéria *Magnetosperillum magnetotacticum* (Pradeep, 2008).

A obtenção de nanoestruturas de celulose é um dos tópicos amplamente estudados na atualidade. Como matéria-prima para a obtenção de nanoestruturas de celulose, é possível utilizar desde polpa celulósica de madeira, como eucalipto, até mesmo fibras de cânhamo, trigo, linho, sisal, rami, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros. Um dos pontos de maior interesse na utilização das nanoestruturas de celulose é a possibilidade de obtenção de novos produtos com alta performance (Dufresne, 2013), principalmente no que tange à resistência mecânica, propriedades de barreira e transparência ótica. Entre as diversas aplicações das nanoestruturas de celulose, destacam-se materiais compósitos, filmes finos inteligentes, encapsulamento celular, entre outros (Auad et al., 2008; Baidya et al., 2017; Li et al., 2017).

Os métodos de obtenção da nanocelulose podem ser de cunho mecânico, biológico e/ou químico, fazendo que o produto gerado apresente características distintas. De acordo com Chirayil et al. (2014), características das nanoestruturas de celulose, tais como morfologia e resistência mecânica, variam em função da fonte da matéria-prima e método de produção. A obtenção de nanocelulose por método biológico, também conhecida como nanocelulose bacteriana, é realizada a partir da síntese de carboidratos de baixo peso molecular com bactérias como a *Gluconacetobacter xylinus*, originando um material com alta pureza e diâmetro entre 20 nm e 100 nm (Abitbol et al., 2016). Já o método químico dá origem a estruturas denominadas nanocristais, enquanto o método mecânico origina estruturas chamadas de nanofibrilas de celulose. Também chamada de celulose microfibrilada (MFC), essas estruturas obtidas por processo mecânico de baixo impacto ambiental exibem características e consistência de um gel, enquanto os nanocristais de celulose (NCC) apresentam propriedades líquido-cristalinas a partir da remoção da estrutura amorfa da celulose por hidrólise ácida (Campilho, 2015). Além disso, as nanofibrilas de celulose destacam-se por apresentar maior razão de aspecto, maior área de superfície e maior acessibilidade a grupos hidroxila para modificação da superfície, quando comparadas aos nanocristais de celulose, estes obtidos por meio reacional químico (Lavoine et al., 2012).

O método de desfibrilação mecânica para obtenção de MFC é um dos pontos principais de investigações científicas na Embrapa Florestas. Leva-se em consideração a necessidade de utilização de fontes naturais e, ou resíduos para a obtenção de nanoestruturas passíveis de desenvolvimento e aplicação de novos materiais com menor impacto ambiental e de origem renovável e biodegradável. Nechyporchuk et al. (2016) afirmam que a ausência de químicos no processo de desfibrilação mecânica ressalta características de uma alternativa eficiente e de baixo-custo para a produção de nanoestruturas de celulose. É pertinente destacar que há uma série de métodos mecânicos para a obtenção de nanoestruturas de celulose, tais como homogeneização em alta pressão, microfluidização, moagem por forças de cisalhamento (*grinding*), moagem criogênica e Ultrassonicação de Alta Intensidade (Hius) (Nasir et al., 2017).

Entre os métodos mecânicos disponíveis, a Embrapa Florestas tem-se dedicado à obtenção de nanoestruturas de celulose, em especial com matéria-prima de eucalipto, utilizando a moagem por forças de cisalhamento (*grinding*) em um moinho coloidal comercial Masuko Sangyo. Este método baseia-se na passagem da polpa celulósica entre dois discos de carbeto de silício, em que um mantém-se fixo enquanto o outro rotaciona (Nasir et al., 2017), gerando forças de cisalhamento, usualmente com 1.500 rpm, capazes de quebrar as ligações de hidrogênio e a parede celular das fibras e, consequentemente, individualizando fibras em escala nanométrica (Siró; Plackett, 2010).

O processo de desfibrilação mecânica em moinho coloidal, amplamente utilizado pela Embrapa Florestas para a produção de nanoestruturas de celulose, a partir da madeira de eucalipto e outras matérias-primas, necessita de um procedimento operacional padrão, de maneira a evitar discordâncias quanto às características do material produzido. Com isso, Magalhães et al. (2017) desenvolveram um procedimento com o intuito de viabilizar e disseminar as etapas fundamentais para a produção de nanoestruturas de celulose em moinho coloidal. Os principais pontos que devem ser observados relacionam-se à distância entre as duas pedras de carbeto de silício, o escoamento da água e a corrente elétrica consumida no motor do moinho coloidal. Além disso, deve-se observar a rotação dos discos de pedra para 1.500 rpm e o número de passagens da polpa celulósica, este último um parâmetro de influência significativa na qualidade da suspensão de nanocelulose produzida e exemplificada na Figura 1.

Dessa maneira, diversos pontos devem ser levados em consideração, quando se deseja produzir nanoestruturas de celulose por meio de método mecânico. Especificamente para o método de moagem por forças de cisalhamento (*grinding*), alvo de estudo pela Embrapa Florestas, o número de passagens entre os dois discos de pedra é uma condição de processamento básica que condiciona a qualidade e a aplicação das nanoestruturas de celulose obtidas. Por exemplo: Iwamoto et al. (2007) observaram que 1 a 30 passagens no moinho coloidal podem ser realizadas para a obtenção de nanoestruturas de celulose oriundas de polpa dissolvida de *Pinus radiata*

Foto: Francine Cecon Claro

Figura 1. Suspensão de celulose branqueada sendo alimentada no moinho para desfibrilação das fibras.

Fotos: Lucca Malucelli

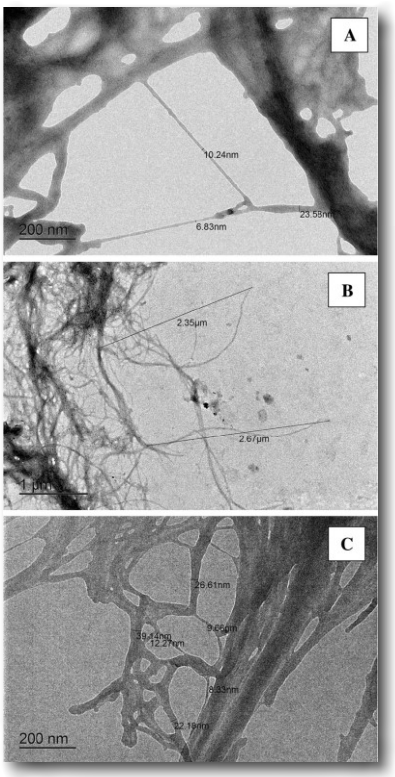


Figura 2. Nanoestruturas de celulose de eucalipto produzidas por desfibrilação mecânica.z

com diâmetro entre 20 nm e 50 nm, sem alterações morfológicas com o aumento do número de passagens. No entanto, a transmitância ótica apresenta aumento de 80% com até 5 passagens. Um maior número de passagens resulta em degradação das fibras celulósicas e em uma menor cristalinidade e grau de polimerização da celulose, bem como redução das propriedades mecânicas em tração de nanocompósitos com resina acrílica.

Considerando as observações supracitadas de Iwamoto et al. (2007), em estudo recente desenvolvido na Embrapa Florestas, as propriedades térmicas, estruturais e reológicas de nanofibrilas de celulose de eucalipto foram estudadas em função da variação das condições de desfibrilação mecânica e a influência nas propriedades mecânicas do nanopapel produzido. Uma suspensão de nanocelulose foi produzida por desfibrilação mecânica em um moinho coloidal Masuko Sangyo (Kawaguchi, Japão) com 1.500 rpm, considerando até 25 passagens no meio, em que se retirou material a cada 5 passagens, totalizando 5 suspensões de nanocelulose. As nanofibrilas de celulose apresentaram diâmetro médio de 15,65 nm, variando de 4 nm a 40 nm (Figura 2) (Malucelli et al., 2018). O diâmetro das nanoestruturas de celulose de eucalipto está de acordo com outros estudos que apresentaram, como foco principal, a obtenção e aplicação de nanocelulose de eucalipto, tais como aquele realizado por Viana et al. (2018), com média entre 20 nm e 30 nm de diâmetro.

Neste mesmo estudo de Malucelli et al. (2018), a influência do número de passagens no moinho foi observada a partir de análise termogravimétrica, a qual mostrou que uma

drástica desfibrilação mecânica – acima de 10 passagens – pode tornar a celulose mais acessível à degradação térmica. Por outro lado, o índice de cristalinidade manteve-se estável sem alterações significativas. Igualmente, quanto à reologia, a suspensão de nanocelulose apresentou um comportamento tixotrópico independentemente das condições de desfibrilação mecânica. As propriedades reológicas da suspensão de nanocelulose são de extrema importância, em especial a viscosidade, visto que uma série de aplicações, como processos de aspersão para revestimento de materiais, dependem do comportamento reológico em função da taxa e tempo de cisalhamento aplicados.

A partir dessas suspensões de nanocelulose, folhas de nanopapel a partir das nanoestruturas de celulose de eucalipto foram produzidas e testadas quanto às suas propriedades mecânicas. Por meio de análise dinâmico-mecânica (DMA), no mesmo estudo supracitado (Malucelli et al., 2018), os autores observaram influência do grau de desfibrilação mecânica na tensão à tração, módulo de elasticidade e tenacidade do nanopapel. Por exemplo, 20 passagens no moinho coloidal resultaram em um nanopapel com módulo de elasticidade superior a 8 GPa e tenacidade próxima a 40 Jm^{-3}, o que é resultado de uma excelente homogeneização das nanofibrilas e, consequentemente, maior associação destas com a estrutura do nanopapel. Por outro lado, a ocorrência de aglomeração das nanofibrilas resulta em uma redução do módulo de elasticidade e da tenacidade, o que prejudica o contato entre elas e reduz as propriedades mecânicas do nanopapel.

Além da influência do número de passagens na qualidade das nanoestruturas de celulose, a utilização de pré-tratamentos das fibras celulósicas, seja químico ou enzimático, tem sido investigada com o intuito de reduzir o consumo de energia e aumentar o grau de desfibrilação durante o processo mecânico (Abdul Khalil et al., 2014). O alto consumo de energia na desfibrilação mecânica é um dos maiores obstáculos a serem superados na produção de MFC (Siró; Plackett, 2010). O referido consumo de energia durante a desfibrilação mecânica tende a variar em função das condições de operação do moinho coloidal e da matéria-prima utilizada para a obtenção de nanoestruturas de celulose. Por exemplo, para polpa celulósica branqueada de eucalipto, Wang et al. (2012) observaram consumo de energia entre 5 kWh/kg e 30 kWh/kg, o que foi corroborado por Jordão et al. (2017) ao encontrar consumo médio de 4 kWh/g (base seca) também para polpa de celulose branqueada de eucalipto e pinus. Considerando os custos nacionais (Brasil) de energia elétrica e da matéria-prima, os autores chegaram a um custo total para a produção de MFC de US$ 1,1/ kg. Nesse sentido, os pré-tratamentos (químicos ou enzimáticos) supracitados podem contribuir para uma redução do consumo de energia de até 80%, de 20.000 kWh/t a 30.000 kWh/t para 1.000 kWh/t de fibras celulósicas (Ankerfors; Lindström, 2007; Siró; Plackett, 2010).

Especificamente, pré-tratamentos enzimáticos (hidrólise enzimática) com celobiohidrolase e endoglucanase são úteis para modificar e/ou degradar as regiões

amorfas da fibra, em particular a lignina e as hemiceluloses presentes na sua estrutura (Abdul Khalil et al., 2014), com menor agressividade quando comparada à hidrólise ácida (Pääkkö et al., 2007) e pequeno efeito nas dimensões das nanofibrilas de celulose produzidas (Siddiqui et al., 2011). A eficiência da hidrólise enzimática como pré-tratamento de fibras celulósicas foi comprovada pelas pesquisas da Embrapa Florestas ao observar uma correlação linear positiva entre a concentração de enzima Cellic CTec2® (Novozymes) e a redução da energia demandada para a produção de nanoestruturas de celulose, a partir de polpa *Kraft* não-branqueada de eucalipto por desfibrilação mecânica, em moinho coloidal (Ribes et al., 2017). Outros pré-tratamentos comumente utilizados versam sobre a reação das fibras celulósicas com meios alcalinos, tais como hidróxido de sódio (NaOH) e meios ácidos, ácido clorídrico (HCl) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), bem como dissolução em líquidos iônicos. Da mesma maneira e com propósito similar, ressalta-se o pré-tratamento de oxidação das fibras celulósicas, o qual remete a um mecanismo de modificação dos grupos hidroxila da celulose por meio de agentes, tais como o TEMPO (N-oxil-2,2,6,6-tetrametilpiperidina), para reduzir a intensidade de desfibrilação mecânica e, consequentemente, diminuir a energia demandada para obtenção das nanoestruturas de celulose (Tejado et al., 2012).

Baseado no fato de que uma série de estudos se limitou ao efeito isolado dos pré-tratamentos químicos para redução do consumo de energia ou melhoria das propriedades mecânicas, outro alvo de estudo da Embrapa Florestas foi a influência geral do consumo de energia na reologia e nas propriedades estruturais e mecânicas da celulose nanoestruturada (Malucelli et al., 2019). Polpa celulósica branqueada de eucalipto foi pré-tratada em meio alcalino com 5% NaOH e meio oxidativo com TEMPO, seguido de desfibrilação mecânica em moinho coloidal com condição de operação para 25 passagens (Figura 3).

A eficiência dos tratamentos alcalino e oxidativo foi confirmada com a redução do conteúdo de hemiceluloses para as fibras reagidas com NaOH e consequente diminuição da região amorfa visualizada por difração de raios-X, e a conversão de grupos hidroxila ligados ao carbono 6 (C6) da celulose em carboxilato de sódio para as fibras oxidadas com o agente TEMPO. Com relação à obtenção das nanoestruturas de celulose e sua morfologia, Malucelli et al. (2019) observaram a ocorrência de desfibrilação mecânica independentemente do pré-tratamento ou não das fibras. Porém, ressaltaram que o pré-tratamento oxidativo com TEMPO auxiliou em uma melhor individualização das nanofibrilas devido à introdução de grupos funcionais com carga negativa que remetem a uma força de repulsão entre as nanofibrilas de celulose (Figura 4). Isso também corrobora com a afirmação de Boufi e Chaker (2016), no qual a permanência de uma quantidade significativa de hemiceluloses na estrutura da fibra após o processo de deslignificação auxilia na desintegração mecânica da parede celular, com menor agregação das fibrilas.

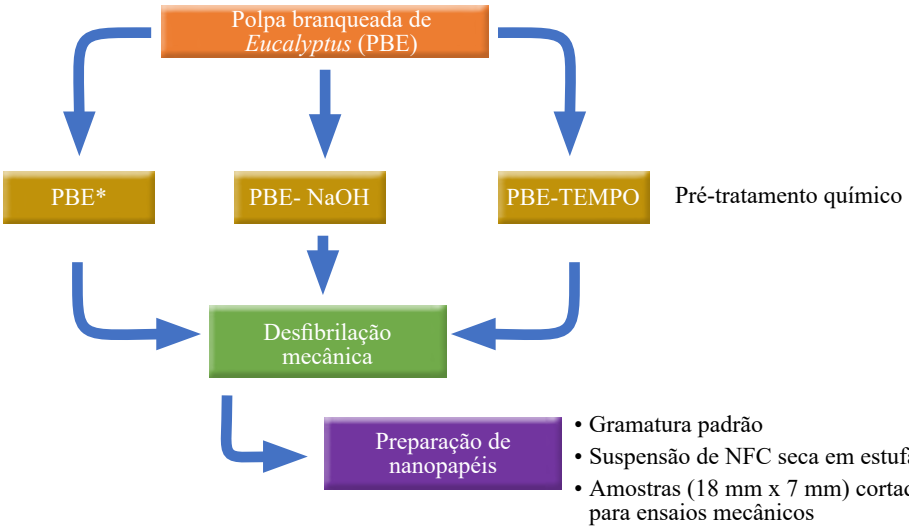


Figura 3. Esquema de pré-tratamento de polpa celulósica branqueada de eucalipto e produção de nanopapel a partir de celulose nanoestruturada obtida por desfibrilamento mecânico.

Fotos: Lucca Malucelli

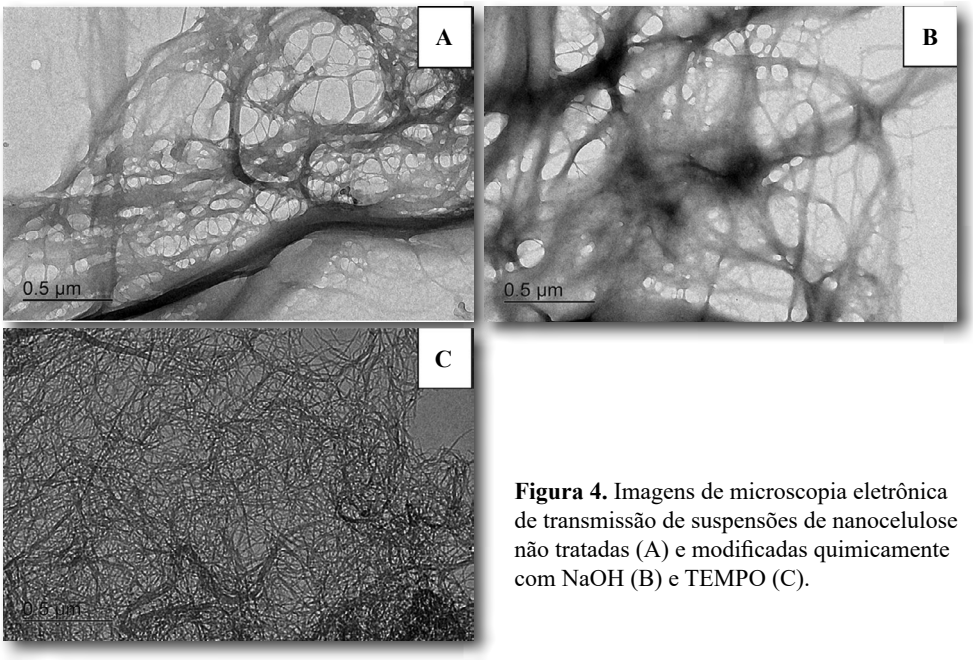


Figura 4. Imagens de microscopia eletrônica de transmissão de suspensões de nanocelulose não tratadas (A) e modificadas quimicamente com NaOH (B) e TEMPO (C).

Concomitantemente, o pré-tratamento oxidativo com TEMPO resultou em uma suspensão de nanocelulose com maior viscosidade, principalmente devido à introdução de grupos carboxila e maior facilidade no processo de desfibrilação mecânica, bem como na presença de pseudoplasticidade, a qual remete ao uso dessas suspensões de nanocelulose como aditivo espessante. Em contrapartida, o tratamento alcalino com NaOH resultou em uma redução da viscosidade da suspensão de nanocelulose, especialmente devido à remoção parcial das hemiceluloses. Mesmo assim, os autores observaram que essa redução na viscosidade da suspensão modificada com NaOH não afetou significativamente a pseudoplasticidade do material.

De maneira a confirmar a eficiência dos pré-tratamentos realizados, a resistência mecânica do nanopapel produzido não foi afetada pela remoção parcial das hemiceluloses (Malucelli et al., 2019), o que não corrobora com estudos anteriores (Rambabu et al., 2016). Porém, os autores afirmam que a preservação das propriedades mecânicas do nanopapel depende do controle durante a remoção das hemiceluloses. É importante destacar que o pré-tratamento oxidativo com TEMPO possibilitou o aumento significativo das propriedades da nanocelulose de eucalipto sem aumentar a demanda por energia durante a desfibrilação mecânica (Figura 5).

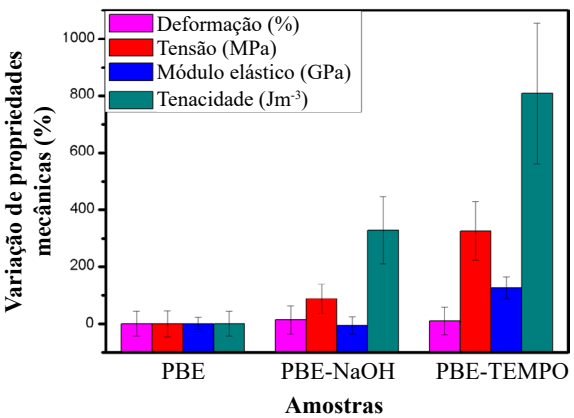


Figura 5. Propriedades mecânicas do nanopapel produzido a partir de polpa celulósica branqueada não tratada (PBE), polpa celulósica branqueada modificada quimicamente com NaOH (PBE-NaOH) e polpa celulósica branqueada modificada quimicamente com TEMPO (PBE-TEMPO).

Considerando-se a abrangência da nanocelulose como matéria-prima para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado, bem como as evidências observadas por Malucelli et al. (2019), Claro et al. (2019) deram continuidade à investigação da influência do teor de hemicelulose na reologia da MFC, quando em suspensão ou após processo de secagem, o qual também foi motivado pela importância das hemiceluloses junto às microfibrilas de celulose. Estas têm ampla atuação em diversas situações como agente de ligação entre celulose e lignina, formando a parede primária dos vegetais (Hayashi et al., 1987); inibidores de coalescência das microfibras de

celulose durante a secagem; facilitadores da nanofibrilação da estrutura da celulose ao evitar a agregação das nanofibrilas (Iwamoto et al., 2008); além de sua presença auxiliar no aumento das propriedades mecânicas das nanofibrilas (Chaker et al., 2013).

Claro et al. (2019) submeteram polpa celulósica branqueada de *Eucalyptus* sp. a diferentes tratamentos com KOH (hidróxido de potássio, 2,5%, 5,0%, 10%, 20% e 40%) por 24 horas sob temperatura de 25 °C. Posteriormente, a MFC foi produzida em moinho coloidal por desfibrilação mecânica com 1.500 rpm e 20 passagens, como condições de processamento para a obtenção de suspensões com 0,5%, 1% e 2% de consistência. Em um primeiro momento, os autores observaram a redução do teor de hemiceluloses em função do aumento da concentração de KOH, porém concentrações acima de 10% não causaram redução significativa. Soma-se a isto o fato de 10% KOH ter sido o tratamento mais eficiente para a remoção das hemiceluloses sem causar mudanças na estrutura cristalina da celulose.

A importância das hemiceluloses para estabilização da suspensão de nanocelulose de eucalipto foi validada ao observar que apenas a MFC não-tratada e 2,5% KOH proporcionaram uma suspensão estável. Os autores atrelaram esta desestabilização das suspensões tratadas com 5-10% KOH ao citar a remoção significativa de hemiceluloses e lignina da estrutura das fibrilas de celulose (Duchesne et al., 2001). Da mesma maneira, as propriedades viscoelásticas das suspensões de MFC foram afetadas significativamente pela remoção parcial das hemiceluloses, mostrando um comportamento de fluido não-newtoniano (modelo Herschel–Bulkley) para as concentrações de 1% e 2% de nanocelulose. Concomitantemente, a viscosidade aparente das suspensões de nanocelulose foram significativamente influenciadas pela presença das hemiceluloses, em que a afinidade das pentoses com a água resultou em uma maior viscosidade para maiores concentrações de hemiceluloses.

A instabilidade das suspensões de nanocelulose tratadas com 5-10% observada por Claro et al. (2019) foi preponderante para evidenciar aglomerações durante a formação dos filmes de MFC e, consequentemente, espaços vazios em escala micro e nano, os quais resultaram em perda de resistência mecânica à tração. Em suma, Claro et al. (2019) corroboraram com o estudo prévio de Malucelli et al. (2019), ao concluírem que o controle do teor de hemiceluloses é extremamente pertinente em função da aplicação desejada, principalmente quanto à resistência aos esforços mecânicos.

Diante da ampla gama de aplicações das nanoestruturas de celulose, a destacar o desenvolvimento de nanocompósitos, cosméticos, fármacos, aditivos para revestimentos, embalagens alimentícias e fabricação de papel e derivados (Abdul Khalil et al., 2014), a Embrapa Florestas também vem desenvolvendo atividades de pesquisa objetivando aprimorar e direcionar este material nanoestruturado para fins de alto valor agregado, com destaque para a imobilização de enzimas em suportes sólidos, em vez do uso de enzimas livres, de maneira a resultar em aumentar a vida útil da enzima e maior estabilidade operacional. Especificamente, Magalhães et al. (2018)

investigaram o uso de celulose nanoestruturada produzida a partir de madeira de eucalipto ou outra matéria-prima como suporte sólido para a imobilização da enzima lacase, desenvolvendo um procedimento operacional padrão para a realização da atividade. Um dos objetivos ao imobilizar a lacase na nanocelulose é contribuir para uma maior reatividade das moléculas de lignina inseridas no meio reacional, estas advindas, preferencialmente, dos subprodutos gerados na polpação da madeira de eucalipto para a produção de papel. O procedimento adaptado pela Embrapa Florestas versa sobre a oxidação das nanofibrilas de celulose com periodato de sódio ($NaIO_4$) e imobilização da lacase, conforme exemplificado na Figura 6.

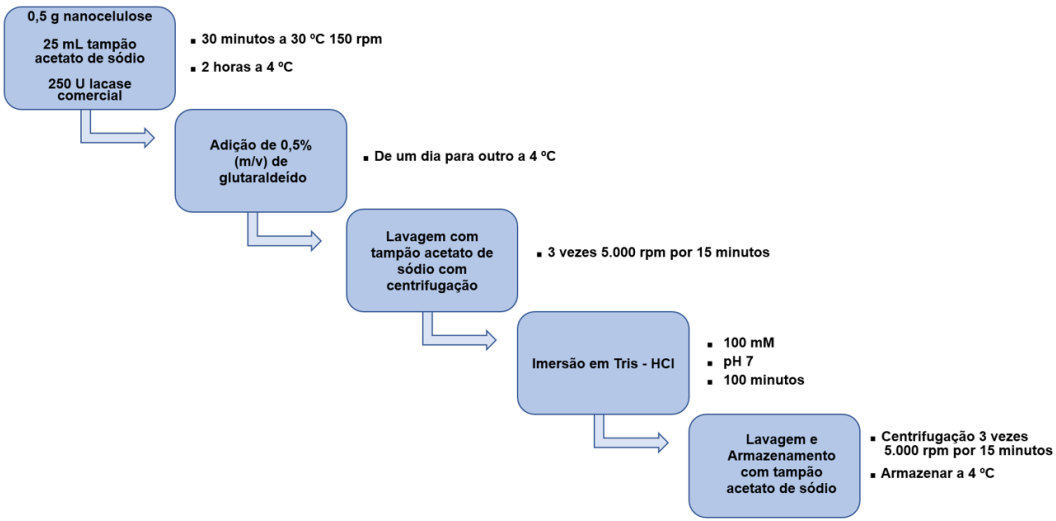


Figura 6. Procedimento adaptado pela Embrapa Florestas para imobilização da enzima lacase em nanoestruturas de celulose produzidas por processo de desfibrilação mecânica.

Os principais resultados do procedimento de imobilização adaptado por Magalhães et al. (2018) mostraram um rendimento de até 83% e atividade da lacase imobilizada de 272 U g^{-1}. Os autores ressaltam que o rendimento encontrado foi similar ao previamente observado por outros estudos (Sathishkumar et al., 2014) com nanofibrilas de celulose obtidas por eletrofiação. Isso mostra a eficiência e a versatilidade de aplicação das nanoestruturas de celulose oriundas de eucalipto ou outra matéria-prima, especialmente desenvolvidas por processo de desfibrilação mecânica, o qual apresenta baixo-custo e ausência de insumos químicos nas etapas de produção.

Outro campo de estudo para aplicação das nanoestruturas de celulose que deve ser ressaltado é o desenvolvimento de nanocompósitos. Em estudo recente desenvolvido na Embrapa Florestas, Mattos e Magalhães (2016) investigaram o potencial de aplicação de nanoestruturas de celulose de eucalipto e nanosílica biogênica como nanocompósito para suportar o biocida tebuconazol, de maneira a criar um sistema biocida de liberação controlada. Lvov et al. (2008) destacam que as estratégias baseadas em nanotecnologia devem basear-se em materiais de baixo-custo, de origem natural e sintetizados por métodos simples, o que é endossado por Mattos e Magalhães (2016) ao utilizar nanoestruturas de celulose de eucalipto e nanosílica biogênica extraída de *Equisetum arvense* (cavalinha) para o desenvolvimento dos nanocompósitos.

A importância das nanoestruturas de celulose de eucalipto foi comprovada ao aumentar a eficiência de retenção do tebuconazol na estrutura da nanosílica biogênica de 84% para 96%. Mattos e Magalhães (2016) ressaltaram que a ausência de novos picos em análise de espectroscopia no infravermelho (FTIR) mostrou que não há a ocorrência de reações químicas entre as nanoestruturas de celulose e sílica e o biocida, somente atuação de forças de Van der Waals. A microestrutura dos nanocompósitos baseia-se na presença de nanosílica revestida com nanoestruturas de celulose em uma rede organizada aleatoriamente, conforme visualizado nas microtomografias de raios-X (Figura 7). O efeito do revestimento das nanoestruturas de celulose é mais visível quando há o aumento de MFC na composição do nanocompósito, o que reflete em um menor número de espaços vazios.

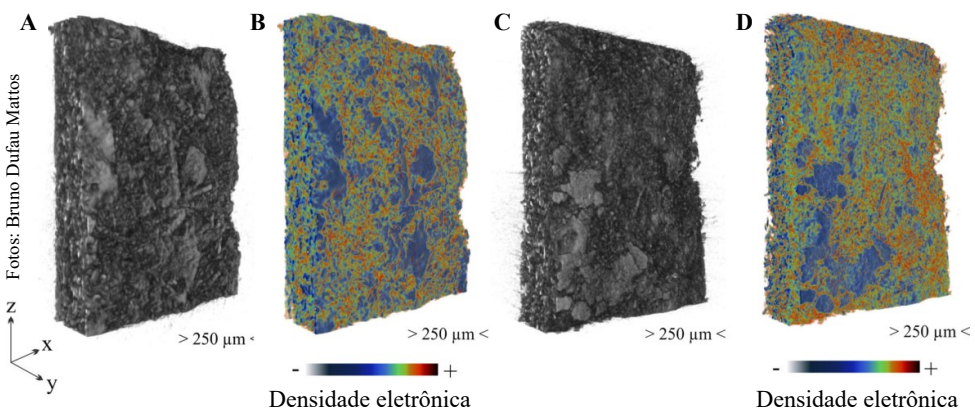


Figura 7. Microtomografia de raios-X dos nancompósitos produzidos com nanoestruturas de celulose, nanosílica biogênica e biocida tebuconazol. (A) imagem reconstrutiva e (B) mapeamento da densidade eletrônica do nancompósito com maior conteúdo de MFC; (C) imagem reconstrutiva e (D) mapeamento da densidade eletrônica do nanocompósito com menor conteúdo de MFC.

A interação entre as nanoestruturas de celulose de eucalipto e nanosílica biogênica, conjuntamente com a capacidade de retenção do tebuconazol resultou em uma menor taxa de liberação do biocida, especialmente na presença da MFC. O biocida na sua forma pura apresentou liberação de 95% em 15 dias, enquanto o biocida incorporado nos nanocompósitos resultou em uma liberação de 30-45% (Mattos; Magalhães, 2016), comprovando a atuação potencial das nanoestruturas de celulose de eucalipto e nanosílica biogênica como suporte aos biocidas.

Na mesma vertente, outro estudo desenvolvido na Embrapa Florestas e em destaque no cenário da nanotecnologia aplicada ao eucalipto é a produção e nanocompósitos com foco em embalagens para produtos alimentícios e farmacêuticos. Especificamente, Missio et al. (2018) investigaram o potencial de aplicação de uma matriz nanoestruturada de celulose de eucalipto incorporada com partículas de tanino condensado sob duas estratégias: i) mistura manual das partículas de tanino à suspensão de nanocelulose e ii) dispersão em polpa celulósica antes da desfibrilação mecânica em moinho coloidal para posterior produção da suspensão de nanocelulose, conforme visualizado na Figura 8.

A estratégia de mistura simples entre nanofibrilas de celulose e tanino resultou em um material não-homogêneo caracterizado pela presença de partículas aglomeradas de tanino (Figura 8B). Em contrapartida, a incorporação do tanino à polpa celulósica durante a produção da suspensão de nanofobrilas, em moinho coloidal, resultou em um material com alta interação interfacial entre os materiais, especialmente ligações secundárias como Van der Waals, dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio. Missio et al. (2018) sugerem essa melhor interação em virtude da ocorrência de ligações de hidrogênio entre celulose e tanino, durante a exposição em moinho coloidal das nanofibrilas, na presença das partículas de tanino.

A eficiente incorporação de partículas de tanino em uma matriz de nanocelulose, por meio do processo de desfibrilação mecânica, foi validada por Missio et al. (2018) ao observar excelentes propriedades de barreira dos filmes à água líquida e ao ar, esta última com valor seis vezes menor que o filme contendo apenas MFC. Além disso, os filmes de nanocelulose com tanino incorporado em sua estrutura apresentaram baixa adsorção de água liquida, proporcionando uma superfície hidrofóbica, possivelmente devido aos grupos funcionais com caráter hidrofóbico presentes na estrutura do tanino e, consequentemente, na superfície dos filmes (Figura 9). Soma-se às excelentes propriedades de barreira, o fato de os filmes de nanocelulose com tanino incorporado apresentarem estabilidade térmica e resistência química aos solventes orgânicos, bem como uma boa atividade antioxidante por, no mínimo, 48 horas, o que fortalece a aplicação desse produto biodegradável como fonte para novas tecnologias, no setor de embalagens alimentícias e farmacêuticas.

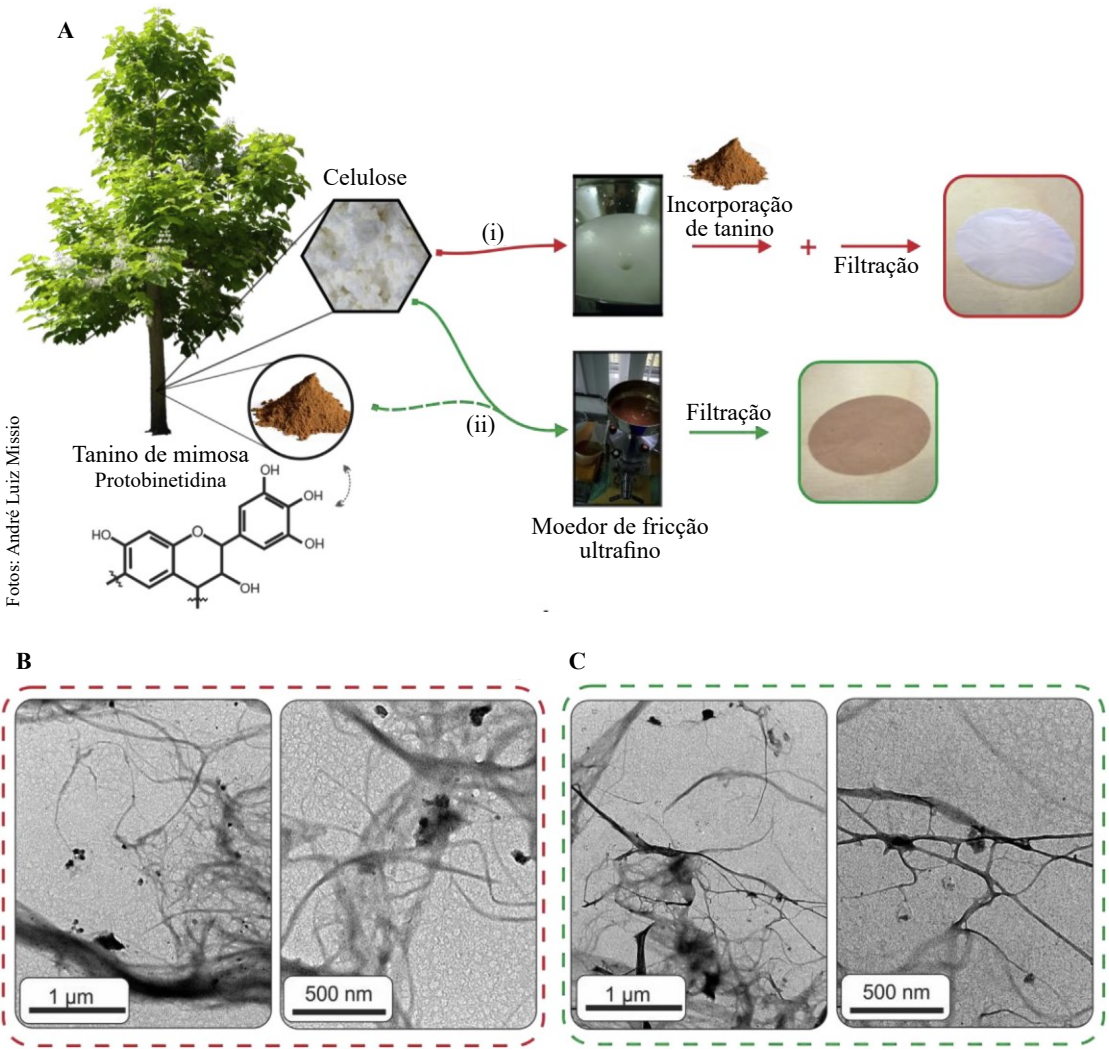


Figura 8. Esquema de preparação dos filmes de nanocelulose com tanino incorporado (A); imagens de microscopia eletrônica de transmissão mostrando a interação fraca entre nanofibrilas de celulose e tanino, a partir de uma mistura simples (B) e interação significativa entre nanofibrilas de celulose e tanino após desfibrilação mecânica em moinho coloidal (C).

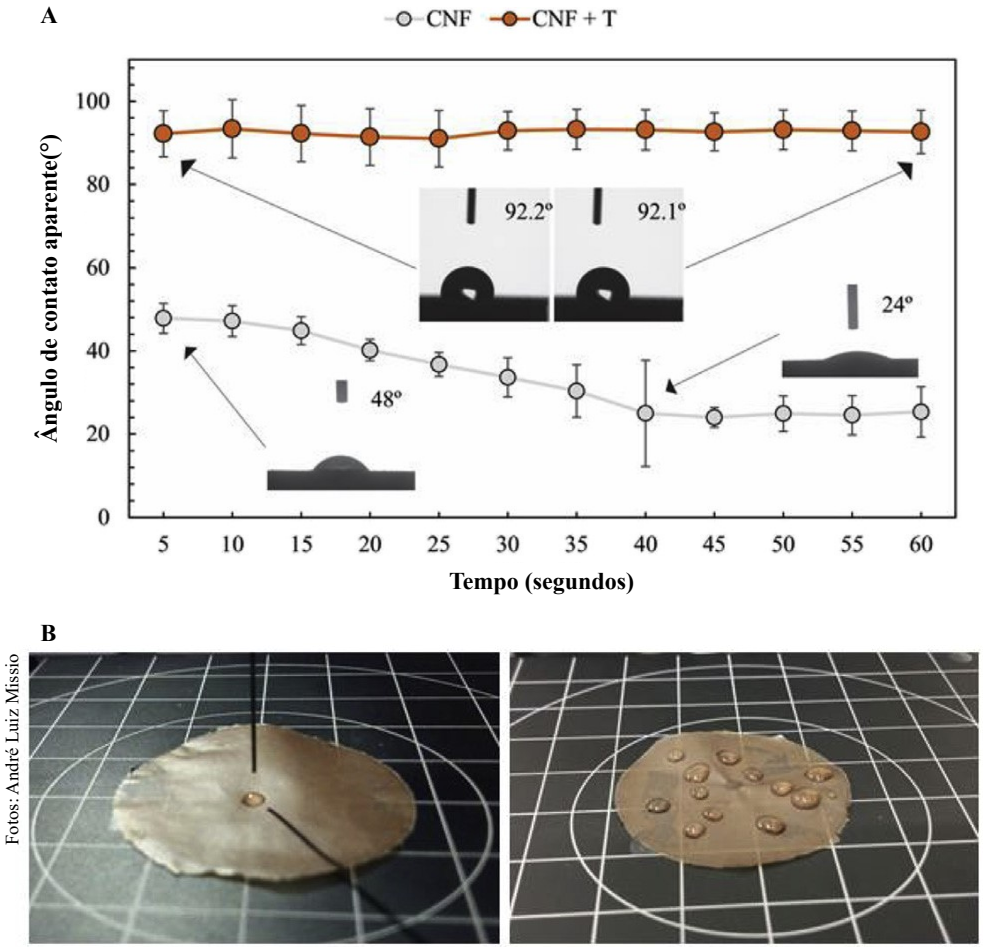


Figura 9. Ensaios de ângulo de contato aparente em água evidenciando a ausência de adsorção de água na superfície dos filmes de nanocelulose de eucalipto incorporados com partículas de tanino condensado.

Outro recente trabalho do grupo dentro deste contexto de nanocompósitos conduzido no Laboratório de Tecnologia da Madeirada Embrapa Florestas, investigou o efeito de reforço, em concentrações e tamanhos diferentes, da celulose fibrilada utilizando papel Kraft branqueado de *Eucalyptus* sp. para a estrutura de hidrogéis de álcool polivinílico; estes, obtidos pelo mecanismo de congelamento/descongelamento. A ligação de hidrogênio que ocorre durante a formação do hidrogel por este mecanismo pode ser realizada tanto por celulose quanto por álcool polivinílico, ou seja, é possível obter hidrogéis com PVA e celulose puros. Estes hidrogéis são materiais com várias aplicações, especialmente na área biomédica, em que podem ser

aplicados como portadores de fármacos, sob liberação controlada, ou na regeneração de feridas. No entanto, ainda não funcionam como alternativas para implantes ósseos por não possuírem a resistência necessária. Desta forma, percebeu-se que, depois da síntese do polímero sintético com a celulose, sua microestrutura, propriedades mecânicas e térmicas podem gerar um comportamento complexo ao reticulá-los fisicamente. O trabalho demonstra que há uma variação significativa quando a nanocelulose é utilizada, em comparação com uma macrocelulose; mais importante, a taxa de entrelaçamento e reticulação da cadeia diferiu a uma dosagem alta de celulose e há um foco principal da cadeia de orientação para esses hidrogéis – isto é, quando a nanocelulose é utilizada, a orientação principal é ditada pelo polímero sintético, e quando se utiliza a macrocelulose a orientação é da celulose (Figura 10). Desta forma, os resultados dependem do tamanho das fibrilas de celulose e isso pode ser adaptado para qualquer aplicação com uma alta resistência mecânica e novas aplicações na área biomédica (De Lima et al., 2020) .

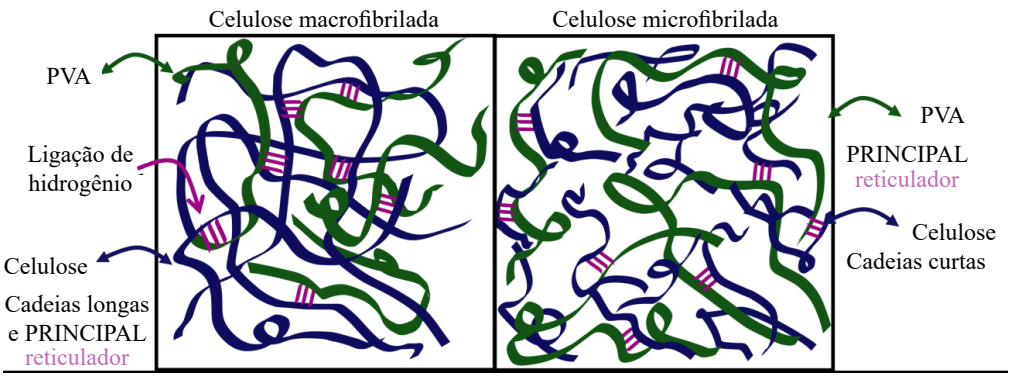


Figura 10. Esquema representando a reticulação entre álcool polivinílico (PVA) e celulose macro- e micro-fibrilada.

Já na pesquisa realizada pela Embrapa Florestas e em cooperação com a Universidade Federal do Paraná, foi desenvolvida uma resina do tipo ureia-formaldeído incorporada com MFC de polpa branqueada de eucalipto durante sua síntese. O propósito foi promover uma resina que trouxesse além dos benefícios já conhecidos proporcionados pela nanocelulose, como aumento das propriedades mecânicas, mas também a manutenção de propriedades físico-químicas comparadas à resina comercias. Esta incorporação foi possível devido ao método inovador de produção por desfibrilação mecânica para obtenção de nanocelulose desenvolvido no trabalho. Neste caso foi utilizando reagente base da síntese, o metanodiol (44%) como solvente da suspensão de nanocelulose. Para esta metodologia e seu método de incorporação

em resinas termofixas foi realizado o depósito de patente sob o número (BR 10 2020 008949 8). A melhora da interação interfacial entre grupos funcionais da MFC-resina-substrato proporcionou aos compósitos melhor adesão na linha de cola e alta densidade de crosslinking. Foi possível visualizar o aumento de tração perpendicular em até 16% em painéis de MDF. Os efeitos de blindagem (Figura 11) da resina reforçada proporcionaram redução da emissão de formaldeído em 30% (25 °C), e redução na absorção de água em 8% (Artner, 2020).

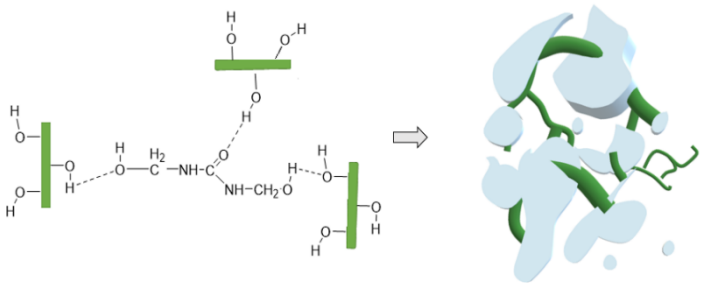


Figura 11. Representação das ligações de hidrogênio entre resina líquida e MFC (esquerda) e o conglomerado com partículas heterogêneas com propriedades de blindagem após a cura com temperatura (direita).

De maneira geral, a caracterização de estruturas nanométricas é objeto de desenvolvimento que, em geral, exigem métodos sofisticados e caros. Assim, uma das técnicas desenvolvidas pela Embrapa Florestas foi a predição do índice de cristalinidade da celulose usando-se indiretamente a quimiometria e análises térmicas de TGA e DTA (Lengowski et al., 2016), o que proporciona um método alternativo e com maior praticidade para fins de caracterização e predição de propriedades de materiais em escala nanométrica, especialmente nanoestruturas de celulose. Uma solução necessária para a produção industrial de MFC (celulose nanofibrilada) é o controle do grau de fibrilação da fibra de celulose. Para tanto, como já evidenciada em estudos anteriores, ressalta-se a necessidade de pesquisas sobre o controle do consumo de energia no moinho, a viscosidade do gel de MFC, bem como a resistência mecânica de filmes de nanopapel (Malucelli et al., 2018, 2019) e o teor de hemicelulose da polpa celulósica (Claro et al., 2019).

Considerações finais

Para o setor de polpação de celulose, que tem se dedicado ao desenvolvimento de processos de produção de suspensões de nanocelulose, o que terá grande interesse serão os produtos com potencial de consumir grandes volumes de MFC. Dessa maneira, o agronegócio é potencialmente uma das melhores possibilidades de desenvolvimento de novos produtos à base de nanocelulose. Pode-se antever aplicações como os fertilizantes, biocidas e feromônios de liberação lenta e controlada. Mas, também como adjuvantes na aplicação de defensivos agrícolas, para evitar a deriva e também aumentar a adesão às folhas dos vegetais.

A nanocelulose também deverá encontrar uso como aditivo em resinas, tintas e vernizes, para aumentar a resistência mecânica e proteção de superfícies. Na área alimentícia, a nanocelulose será usada como aditivos em alimentos líquidos e pastosos. As finalidades irão desde a emulsificação e espessamento até o uso como aditivo funcional (aumentando o trato intestinal e retendo açúcares e colesterol), passando por proteção a determinadas enzimas e vitaminas até para diminuir o consumo de óleos e gorduras.

Muitas pesquisas estão sendo feitas para aumentar as propriedades de barreira dos filmes à base de nanocelulose, para serem aplicados como revestimento em embalagens e em alimentos minimamente processados. Estas tecnologias permitirão a aplicação em embalagens de alimentos, como papel cartão usado nas embalagens TetraPack®. Outra possibilidade será a aplicação em papelão ondulado usado no transporte de frutas, legumes e de hortaliças.

Na área eletroeletrônica existe um potencial de uso de filmes à base da nanocelulose em dispositivos fotovoltaicos orgânicos (OPV), com a finalidade de introduzir materiais biodegradáveis em suas estruturas. Outro segmento potencial à pesquisa é o de cosméticos, em particular, onde a nanocelulose tem um vasto potencial de aplicação. Na área biomédica, a produção de filmes curativos e de liberação lenta e controlada de fármacos deverá originar produtos de alto valor agregado, todavia de menor volume quando comparado às demais aplicações.

Referências

ABDUL KHALIL, H. P. S.; DAVOUDPOUR, Y.; ISLAM, Md. N.; MUSTAPHA, A.; SUDESH, K.; DUNGANI, R.; JAWAID, M. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 649-665, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.069.

ABITBOL, T.; RIVKIN, A.; CAO, Y.; NEVO, Y.; ABRAHAM, E.; BEN-SHALOM, T.; LAPIDOT, S.; SHOSEYOV, O. Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 39, p. 76-88, 2016.

ANKERFORS, M.; LINDSTRÖM T. On the manufacture and uses of nanocellulose. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD & BIOFIBER PLASTIC COMPOSITES, 9., 2007. **Proceedings** [...]. Madison: Forest Products Society, 2007.

ARTNER, M. A. **Incorporação de celulose microfibrilada durante a síntese de resina ureia-formaldeído**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

AUAD, M. L.; CONTOS, V. S.; NUTT, S.; ARANGUREN, M. I.; MARCOVICH, N. E. Characterization of nanocellulose- reinforced shape memory polyurethanes. **Polymer International**, v. 57, n. 4, p. 651–659, 2008. DOI: https://doi.org/10.1002/pi.2394.

BAIDYA, A.; GANAYEE, M. A.; RAVINDRAN, S. J.; TAM, K. C.; DAS, S. K.; RAS, R. H. A.; PRADEEP, T. Organic solvent-free fabrication of durable and multifunctional superhydrophobic paper from waterborne fluorinated cellulose nanofiber building blocks. **ACS Nano**, v. 11, n. 11, p. 11091-11099, 2017. DOI: https://doi.org/10.1021/acsnano.7b05170.

CAMPILHO, R. D. S. G. **Natural fiber composites**. [S.l.] CRC Press, 2015.

CHAKER, A.; ALILA, S.; MUTJÉ, P.; VILAR, M. R.; BOUFI, S. Key role of the hemicellulose content and the cell morphology on the nanofibrillation effectiveness of cellulose pulps. **Cellulose**, v. 20, n. 6, p. 2863–2875, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s10570-013-0036-y.

BOUFI, S.; CHAKER, A. Easy production of cellulose nanofibrils from corn stalk by a conventional high speed blender. **Industrial Crops and Products**, v. 93, p. 39-47, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.030.

CHIRAYIL, C. J.; MATHEW, L.; THOMAS, S. Review of recent research in nano cellulose preparation from different lignocellulosic fibers. **Reviews on Advanced Materials Science**, v. 37, p. 20-28, 2014.

CLARO, F. C.; MATOS, M. de; JORDÃO, C.; AVELINO, F.; LOMONACO, D.; MAGALHAES, W. L. E. Enhanced microfibrillated cellulose-based film by controlling the hemicellulose content and MFC rheology. **Carbohydrate Polymers**, v. 218, p. 307–314, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.089.

DE LIMA, G. G.; FERREIRA, B. D.; MATOS, M.; et al. Effect of cellulose size-concentration on the structure of polyvinyl alcohol hydrogels. **Carbohydrate Polymers**, v. 245, p. 116612, 2020. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861720307864>.

DUCHESNE, I.; HULT, E.; MOLIN, U.; DANIEL, G.; IVRSEN, T.; LENNHOLM, H. The influence of hemicellulose on fibril aggregation of kraft pulp fibres as revealed by FE-SEM and CP/MAS 13C-NMR. **Cellulose**, v. 8, n. 2, p. 103-111, 2001. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1016645809958.

DUFRESNE, A. Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. **Materials Today**, v. 16, n. 6, p. 220-227, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.06.004.

HAYASHI, T.; MARSDEN, M. P.; DELMER, D. P. Pea xyloglucan and cellulose: vi. xyloglucan-cellulose interactions in vitro and in vivo. **Plant Physiology**, v. 83, n. 2, p. 384-389, 1987. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.83.2.384.

IWAMOTO, S.; ABE, K.; YANO, H. The effect of hemicelluloses on wood pulp nanofibrillation and nanofiber network characteristics. **Biomacromolecules**, v. 9, n. 3, p. 1022-1026, 2008. DOI: https://doi.org/10.1021/bm701157n.

IWAMOTO, S.; NAKAGAITO, A. N.; YANO, H. Nano-fibrillation of pulp fibers for the processing of transparent nanocomposites. **Applied Physics A**, v. 89, n. 2, p. 461-466, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s00339-007-4175-6.

LAVOINE, N.; DESLOGES, I.; DUFRESNE, A.; BRAS, J. Microfibrillated cellulose: its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, n. 2, p. 735-764, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.026.

LENGOWSKI, E. C.; MAGALHÃES, W. L. E.; NISGOSKI, S.; BOLZON DE MUNIZ, G. I.; SATYANARAYANA, K. G.; LAZZAROTTO, M. New and improved method of investigation using thermal tools for characterization of cellulose from eucalypts pulp. **Thermochimica Acta**, v. 638, p. 44-51, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tca.2016.06.010.

LI, Y.; YU, S.; CHEN, P.; ROJAS, R.; HAJIAN, A.; BERGLUND, L. Cellulose nanofibers enable paraffin encapsulation and the formation of stable thermal regulation nanocomposites. **Nano Energy**, v. 34, p. 541-548, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2017.03.010.

LVOV, Y. M.; SHCHUKIN, D. G.; MÖHWALD, H.; PRICE, R. R. Halloysite clay nanotubes for controlled release of protective agents. **ACS Nano**, v. 2, n. 5, p. 814-820, 2008. DOI: https://doi.org/10.1021/nn800259q.

MAGALHÃES, W. L. E.; CLARO, F. C.; MATOS, M. de; LENGOWSKI, E. C. **Produção de nanofibrilas de celulose por desfibrilação mecânica em moinho coloidal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 404). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1077010.

MAGALHÃES, W. L. E.; ZANONI, P. R. S.; CLARO, F. C.; MACIEL, G. M. **Imobilização de lacase em nanofibrilas de celulose para aplicação em biorrefinaria de lignina**. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. 21 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 424). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1104133.

MALUCELLI, L. C.; MATOS, M. de; JORDÃO, C.; LACERDA, L. G.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; MAGALHÃES, W. L. E. Grinding severity influences the viscosity of cellulose nanofiber (CNF) suspensions and mechanical properties of nanopaper. **Cellulose**, v. 25, n. 11, p. 6581-6589, DOI: https://doi.org/10.1007/s10570-018-2031-9.

MALUCELLI, L. C.; MATOS, M. de; JORDÃO, C.; LOMONACO, D.; LACERDA, L. G.; CARVALHO FILHO, M. A. da S.; MAGALHAES, W. L. E. Influence of cellulose chemical pretreatment on energy consumption and viscosity of produced cellulose nanofibers (CNF) and mechanical properties of nanopaper. **Cellulose**, v. 26, n. 3, p. 1667-1681, DOI: https://doi.org/10.1007/s10570-018-2161-0.

MATTOS, B. D.; MAGALHÃES, W. L. E. Biogenic nanosilica blended by nanofibrillated cellulose as support for slow-release of tebuconazole. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 18, n. 9, p. 274, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s11051-016-3586-8.

MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D.; FERREIRA, D. de F.; MAGALHÃES, W. L. E.; BERTUOL, D. A.; GATTO, D. A.; PETUTSCHNIGG, A.; TONDI, G. Nanocellulose-tannin films: from trees to sustainable active packaging. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 143-151, 2018.

NASIR, M.; HASHIM, R.; SULAIMAN, O.; ASIM, M. Nanocellulose: preparation methods and applications. **Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites**, p. 261-276, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100957-4.00011-5.

NECHYPORCHUK, O.; BELGACEM, M. N.; BRAS, J. Production of cellulose nanofibrils: a review of recent advances. **Industrial Crops and Products**, v. 93, p. 2-25, DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.016.

PÄÄKKÖ, M.; ANKERFORS, M.; KOSONEN, H.; NYKÄNEN, A.; AHOLA, S.; OSTERBERG, M.; RUOKOLAINEN, J.; LAINE, J.; LARSSON, P. T.; IKKALA, O.; LINDSTRÖM, T. Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels. **Biomacromolecules**, v. 8, n. 6, p. 1934-1941, 2007.

PRADEEP, T. **Nano**: the essentials. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2008.

RAMBABU, N.; PANTHAPULAKKAL, S.; SAIN, M.; DALAI, A. K. Production of nanocellulose fibers from pinecone biomass: evaluation and optimization of chemical and mechanical treatment conditions on mechanical properties of nanocellulose films. **Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 746-754, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.083.

RIBES, D. D.; MARQUES, V. D.; ZANATTA, P.; MAGALHÃES, W. L. E.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A. Eficiência energética do processo top-down na produção de nanofibrilas de celulose. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Trabalhos publicados**. [Seropédica]: SBCTEM, 2017. 6 p.

SATHISHKUMAR, P.; KAMALA-KANNAN, S.; CHO, M.; KIM, J. S.; HADIBARATA, T.; SALIM, M. R.; OH, B.-T. Laccase immobilization on cellulose nanofiber: the catalytic efficiency and recyclic application for simulated dye effluent treatment. **Journal of Molecular Catalysis B**: Enzymatic, v. 100, p. 111-120, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2013.12.008.

SIDDIQUI, N.; MILLS, R. H.; GARDNER, D. J.; BOUSFIELD, D. Production and characterization of cellulose nanofibers from wood pulp. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 25, n. 6-7, p. 709-721, DOI: https://doi.org/10.1163/016942410X525975.

SIRÓ, I.; PLACKETT, D. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. **Cellulose**, v. 17, n. 3, p. 459-494, DOI: https://doi.org/10.1007/s10570-010-9405-y.

TEJADO, A.; ALAM, Md.; ANTAL, M.; YANG, H.; VEN, T. Energy requirements for the disintegration of cellulose fibers into cellulose nanofibers. **Cellulose**, v. 19, n. 3, p. 831-842, DOI: https://doi.org/10.1007/s10570-012-9694-4.

VIANA, L. C.; POTULSKI, D. C.; MUNIZ, G. I. B. de; ANDRADE, A. S. de; SILVA, E. L. de. Nanofibrillated cellulose as an additive for recycled paper. **Cerne**, v. 24, n. 2, p. 140-148, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201824022518.

WANG, Q. Q.; ZHU, J. Y.; GLEISNER, R.; KUSTER, T. A.; BAXA, U.; MCNEIL, S. E. Morphological development of cellulose fibrils of a bleached eucalyptus pulp by mechanical fibrillation. **Cellulose**, v. 19, n. 5, p. 1631-1643, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s10570-012-9745-x.

18

Óleos essenciais de espécies de eucaliptos

Ana Claudia da Silveira
Marcelo Lazzarotto

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O Brasil exportou o equivalente a 7,21 milhões de dólares em óleo essencial de eucalipto no ano de 2018. De 1997 até 2018 houve um aumento de exportação de 466%, enquanto isso a importação desse produto também aumentou nesse período, sendo que em 2018 representou 4,83 milhões de dólares. Nesse cenário, os países que mais importam do Brasil são Reino Unido e Espanha (Brasil, 2019).

Os óleos essenciais são misturas complexas formadas por compostos voláteis obtidos de plantas aromáticas. São utilizados por sua fragrância e atividades farmacológicas. Dentre suas características estão a lipossolubilidade e a densidade menor que a da água, o que favorece sua extração por diferentes tipos de destilação. Na planta, os óleos essenciais apresentam funções como a de mensageiros internos, defesa contra herbívoros e atração de insetos polinizadores. Os compostos que os constituem são sintetizados a partir das rotas sintéticas do mevalonato, pelas quais se obtém sesquiterpenos; e do metil-eritritol, para obtenção de mono e diterpenos (Figura 1) (Bakkali et al., 2008; Kirby; Keasling, 2009; Baser; Buchbauer, 2010).

Os óleos essenciais de eucalipto são ricos em compostos monoterpênicos. Dentre eles, podem-se citar hidrocarbonetos como o α-pineno; alcoóis, como linalool; éteres como o 1,8-cineol (também chamado de eucaliptol); além de aldeídos, cetonas, lactonas, entre outros (Bizzo et al., 2009; Regnault-Roger et al., 2011; Dhakad et al., 2017). Os óleos essenciais do gênero *Eucalyptus* apresentam atividades como antimicrobiana, acaricida, antifúngica, antioxidante e anti-inflamatória (Gould, 1997; Batish et al., 2008; Rantzsch et al., 2009; Dhakad et al., 2017).

As espécies mais utilizadas para produção de óleos essenciais são *Eucalyptus globulus*, *Corymbia citriodora* e *E. staigeriana* (Coppen, 2002; Vitti; Brito, 2003). Sendo que *E. globulus* é a principal fonte de 1,8-cineol, apesar de apresentar concentração inferior desse composto quando comparado ao de outras espécies. Contudo, essa espécie é cultivada para exploração da madeira e produção de celulose e, como consequência, a folha é aproveitada para a extração de óleo essencial (Coppen, 2002). No Brasil, o cultivo de *E. globulus* é realizado em pequena escala, pois se trata de uma espécie adaptada a regiões frias (Vitti; Brito, 2003).

Sabe-se que a natureza e a concentração individual dos constituintes do óleo essencial determinam a atividade do mesmo (Batish et al., 2008). Dentre os compostos presentes no óleo essencial de eucalipto e suas atividades de interesse farmacológico, podem-se citar o α-terpineol, que apresenta atividade analgésica, antimicrobiana, antinociceptiva, entre outras (Quintans-Júnior et al., 2011; Park et al., 2012), o limoneno que apresenta atividade antimicrobiana e antioxidante (Zahi et al., 2015; Bai et al., 2016), e o 1,8-cineol que pode contribuir no combate a micro-organismos patogênicos, tem ação antialérgica e anti-inflamatória (Juergens et al., 2004; Liapi et al., 2007; Batish et al., 2008). Portanto, o estudo com relação às diferenças entre os

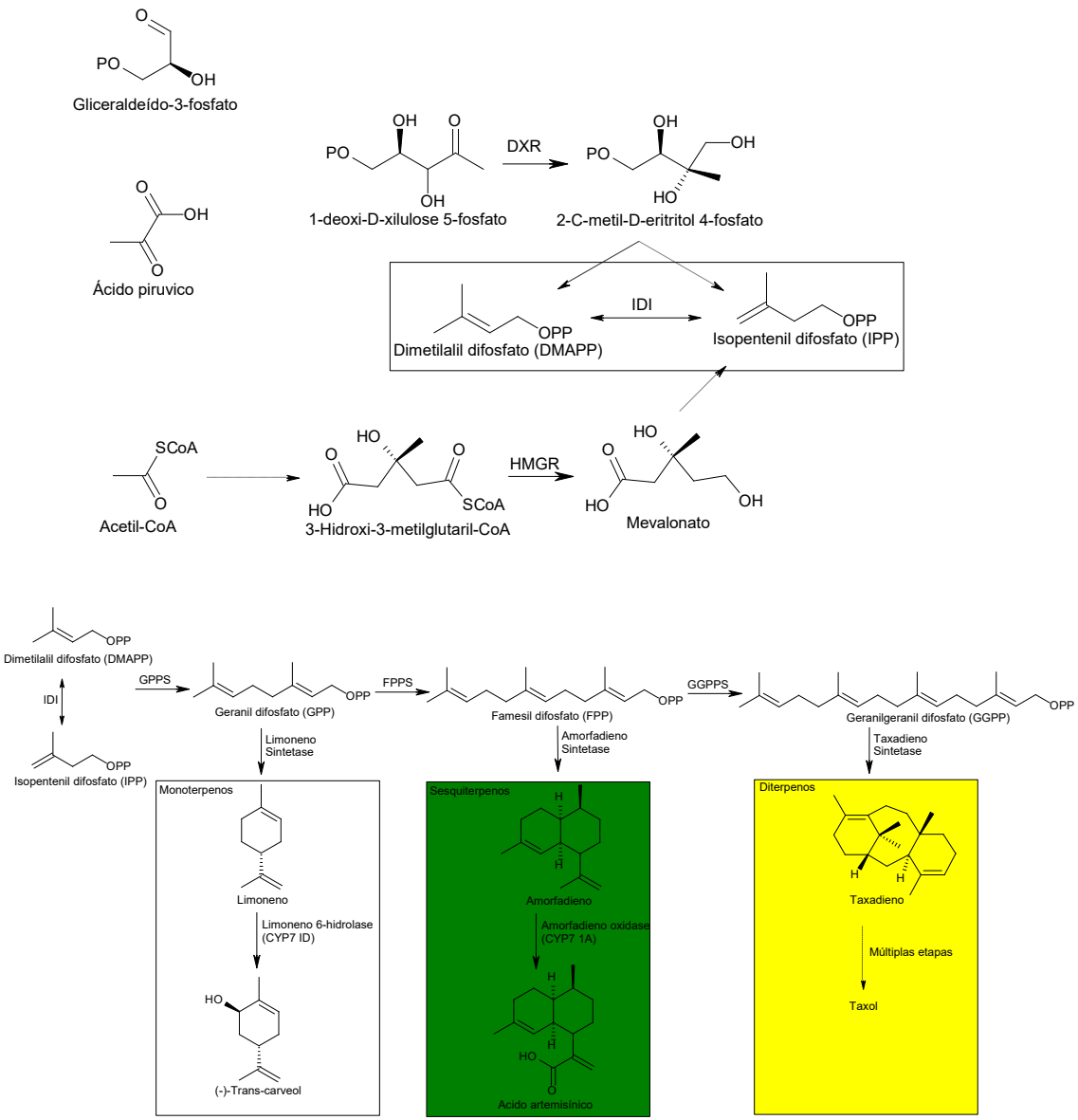


Figura 1. Resumo da rota biossintética de obtenção de mono, di e sesquiterpenos.

óleos essenciais de espécies e genótipos variados pode ser utilizado para escolha de plantios florestais, visando obter óleos essenciais direcionados a aplicações industriais.

Métodos de extração dos óleos essenciais

A técnica de extração de óleos essenciais deve ser escolhida conforme as características e os componentes de interesse da planta, implicando na qualidade do óleo essencial obtido. Essas misturas complexas podem ser extraídas por diferentes processos: destilação por arraste de vapor, hidrodestilação, enfloração (enfleurage), extração com solventes orgânicos, fluido supercrítico, líquido subcrítico e por micro-ondas. Dentre as técnicas mais convencionais para extração dos óleos essenciais das folhas de eucalipto estão a hidrodestilação, destilação por arraste de vapor e extração com solventes orgânicos (Aziz et al., 2018). A técnica de hidrodestilação comumente aplica o equipamento de Clevenger, que cria um sistema fechado, onde as perdas se tornam menores, por meio do processo de recirculação do vapor d'água (Santos et al., 2004). Trata-se de um aparelho que permite a determinação do óleo volátil e prevê uma leitura direta, sem extração preliminar com éter ou outros solventes, de acordo com a Figura 2. A planta permanece em contato com a água sob aquecimento e o vapor formado transporta o óleo volátil, que condensa e é coletado no tubo separador. A água é separada do óleo por densidade e retorna para o balão de destilação (Clevenger, 1928).

Na técnica de destilação por arraste de vapor, a planta não permanece em contato com a água, mas apenas com o vapor, que arrasta os componentes voláteis que são condensados posteriormente no condensador (Aziz et al., 2018). A extração com solventes orgânicos, assim como a técnica da enfloração, aplica o princípio químico de que "semelhante dissolve semelhante". A enfloração é muito usada na fabricação de essências para perfumaria. Nessa técnica, as flores são mergulhadas a frio em ácidos graxos (ceras ou gorduras), a fim de extrair o seu óleo essencial (Salomé-Abarca et al., 2015). Na extração com solventes orgânicos, deve-se escolher o solvente conforme a necessidade, podendo optar por solventes com gradiente de polaridade desde o éter de petróleo até o etanol. O aparelho que geralmente é aplicado nessa técnica é o extrator de Soxhlet (Figura 3) (Aziz et al., 2018).

Foto: Ana Claudia da Silveira

Figura 2. Equipamento de Clevenger.

Foto: Ana Claudia da Silveira

Figura 3. Equipamento de *Soxhlet*.

Rendimento e densidade relativa de óleos essenciais de diferentes espécies de eucaliptos

A composição do óleo essencial, seu rendimento e qualidade dependem de fatores como a espécie, estação do ano, clima, localização, solo, idade das folhas coletadas, regime de fertilidade, método de secagem do material e método de extração utilizado (Batish et al., 2008; Aziz et al., 2018). Existe significativa diferença de rendimento de óleo essencial entre espécies de eucalipto nas mesmas condições, sugerindo importante influência de fatores genéticos. No entanto, segundo alguns autores, as características ambientais são o principal fator de influência no rendimento da extração, sendo que essas não afetam substancialmente a composição do óleo essencial (Li; Madden, 1995).

Em diferentes estudos realizados na Embrapa Florestas, foi observada variação dos rendimentos de extração de óleos essenciais de espécies de eucalipto, Tabela 1. Os valores de rendimento nesses estudos variaram de 0,78% para *E. robusta* cultivado em Colombo, PR, até 3,58% para *E. camaldulensis* cultivado em Vazante, MG. Segundo Vitti e Brito (2003), o rendimento dos óleos essenciais das principais espécies cultivadas para exploração do óleo essencial varia de 0,2% a 1%, com teores de seus componentes principais (1,8-cineol, felandreno, piperitona, citronelal, ácido de geranil e citral) de 16% a 93%.

Cheng et al. (2009) extraíram óleo essencial de folhas frescas de *E. camaldulensis* e *E. urophylla*, com rendimentos de 0,57% e 2,19%, respectivamente, utilizando equipamento de Clevenger modificado. Estudo da Embrapa Florestas que utilizou extração por Clevenger comparou rendimento do óleo essencial obtido a partir de folhas secas de seis genótipos diferentes de eucaliptos cultivados em Vazante, MG, em parceria com a Votorantim. Foi observada grande diferença de rendimento nas extrações de diferentes clones de *E. camaldulensis*; *E. camaldulensis* x *E. tereticornis*; *E. urophylla;* e *E. urophylla* x *E. grandis*, conforme mostra a Tabela 1. Dentre os dois genótipos que apresentaram os maiores rendimentos, estão *E. camaldulensis* clone 07 e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100. O óleo essencial do clone I144 de *E. urophylla* x *E. grandis* obteve o menor rendimento dentre as amostras (0,81%), sendo observada grande diferença de rendimento entre os clones de mesmas espécies (Silveira; Fernandes, 2016). Também foi observado rendimento superior de *E. camaldulensis* (2,19%) em comparação a *E. pellita* (0,89%), espécies vizinhas cultivadas em Vazante, MG, provenientes de plantio seminal (Siqueira et al., 2016).

Tabela 1. Rendimento de extração e densidade relativa de amostras de óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. estudados na Embrapa Florestas.

Amostra	Rendimento (%)	Densidade Relativa (g/mL)	Referência
E. camaldulensis (clone 07)	3,58	0,8787 ± 0,0013	Silveira e Fernandes (2016)
E. camaldulensis x *E. tereticornis* (clone 58)	1,72	0,8723 ± 0,0009	Silveira e Fernandes (2016)
E. urophylla (clone I224)	1,52	0,8470 ± 0,0017	Silveira e Fernandes (2016)
E. urophylla (clone 02)	1,02	0,8863 ± 0,0010	Silveira e Fernandes (2016)
E. urophylla x *E. grandis* (clone I144)	0,81	0,8590 ± 0,0020	Silveira e Fernandes (2016)
E. urophylla x *E. grandis* (clone GG100)	2,43	0,8896 ± 0,0020	Silveira e Fernandes (2016)
E. pellita de plantio seminal	0,89	0,8827 ± 0,0008	Siqueira et al. (2016)
E. camaldulensis de plantio seminal	2,19	0,8513 ± 0,0023	Siqueira et al. (2016)
C. maculata	-	0,9216 ± 0,0071	Denardin et al. (2017b)
E. viminalis	-	0,9092 ± 0,0056	Denardin et al. (2017b)
E. tereticornis	2,55	0,9041	Denardin et al. (2017a)
E. dunni	2,48	0,9092	Denardin et al. (2017a)
E. benthamii	1,21	0,9189	Denardin et al. (2017a)
E. robusta	0,78	0,8796	Denardin et al. (2017a)

Outro estudo comparou o rendimento da extração de óleo essencial de espécies cultivadas em Colombo, PR, sendo observado maior rendimento de *E. tereticornis* (2,55%) e *E. dunni* (2,48%) comparativamente às espécies *E. robusta* (0,78%), *E. benthamii* (1,21%) e *E. camaldulensis* (1,27%) (Denardin et al., 2017a).

Outra característica importante dos óleos essenciais é a densidade relativa (Tabela 1). A densidade relativa é um parâmetro que pode permitir a avaliação qualitativa preliminar da diferença de composição das amostras. Trata-se de uma análise simples e eficiente de caracterização, utilizada no controle de qualidade do óleo essencial do eucalipto e na escolha do equipamento de extração. Segundo as Normas da International Standard Organization (ISO), nº 3044-1997 (ISO, 1997) e nº 770-2002 (ISO, 2002), a densidade dos óleos essenciais de *C. citriodora* varia de 0,858 g/mL a 0,877 g/mL (20 ºC), enquanto a densidade relativa especificada para óleos essenciais de espécies ricas em cineol é de 0,906 g/mL a 0,925 g/mL (ISO, 1997, 2002). Os óleos essenciais comerciais de *C. citriodora* e *E. globulus* apresentam densidades respectivas de 0,866 g/mL e 0,909 g/mL (25 ºC) (Sigma-aldrich, 2019a, 2019b). Na literatura são observados estudos que relacionam a densidade relativa a características específicas de composição e atividade biológica dos óleos essenciais. Porter e Wilkins (1999) encontraram relação entre a densidade do óleo essencial de *Leptospermum scoparium* e *Kunzea ericoidese* com seu teor de sesquiterpenos e tricetonas, por exemplo.

Os óleos essenciais analisados na Embrapa Florestas apresentaram densidades relativas entre 0,8470 ± 0,0017 g/mL e 0,9216 ± 0,0071 g/mL, também sendo

observada variabilidade desse parâmetro entre as espécies e as origens dos eucaliptos estudados.

Características térmicas de óleos essenciais de diferentes espécies de eucaliptos

As análises térmicas permitem investigar propriedades da amostra em função da sua temperatura. Dessa forma, avalia-se o desempenho da amostra frente à variação de massa, perda de água livre e ligada, estabilidade térmica, grau de pureza, pontos de fusão, pontos de ebulição e transições vítreas. Metodologias de análise térmica para avaliação de óleos essenciais são desejáveis para as indústrias química e farmacêutica, pois permitem a comparação entre diferentes amostras (Hazra et al., 2004; Martins et al., 2011). São destacados os eventos de perda de massa, em função do tempo observados nas curvas temogravimétricas (TGA), já nos gráficos de análise térmica diferencial (DTA) são observadas as variações de energia envolvidas nas perdas de massa relativas ao gráfico de TGA (Figura 4). Dentre os resultados de DTA, obtém-se a faixa de temperatura em que os eventos acontecem e a temperatura dos picos observados. Destacam-se os eventos de maior intensidade, pois provavelmente se relacionam com a perda de massa da maior parte dos constituintes e com a estabilidade térmica da amostra (Ionashiro et al., 2014). Na Embrapa Florestas foram desenvolvidos diferentes estudos com o intuito de determinar curvas de perda de massa com o aumento da temperatura dos óleos essenciais de eucaliptos de diferentes espécies e clones.

Dentre os estudos realizados, foram observados dois eventos similares nas curvas de DTA dos óleos essenciais de *E. robusta*, *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* estudados por Denardin et al. (2017a), sendo o primeiro evento o de maior intensidade, com temperatura final de 110 ºC a 125 ºC. O óleo essencial de *E. benthamii* apresentou dois eventos diferentes dos demais, sendo o segundo o de maior intensidade, ocorrendo entre as temperaturas de 120 ºC e 195 ºC. *E. dunnii* apresentou três eventos na curva de DTA, diferentemente das demais amostras.

As análises de óleos essenciais de *E. camaldulensis* clone 07, *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* clone 58 e *E. urophyla* clone I224 apresentaram um evento na curva DTA com temperatura final entre 141 ºC e 156 ºC. Essas amostras apresentaram perda total de massa entre124 ºC e 156 ºC. O clone 02 de *E. urophyla* e dois clones de *E. urophyla* x *E. grandis* (I144 e GG100) apresentaram dois eventos na curva de DTA, sendo as temperaturas iniciais e finais do segundo evento de 120 ºC e 132 ºC e 165 ºC e 184 ºC, respectivamente. Esses genótipos apresentaram perda total de massa entre 168 ºC e 175 ºC (Figura 3). Esse estudo relacionou os resultados de análises térmicas com a concentração de mono e sesquiterpenos, levando em conta que os monoterpenos apresentam ponto de ebulição em temperaturas inferiores. Dessa forma, foi observado

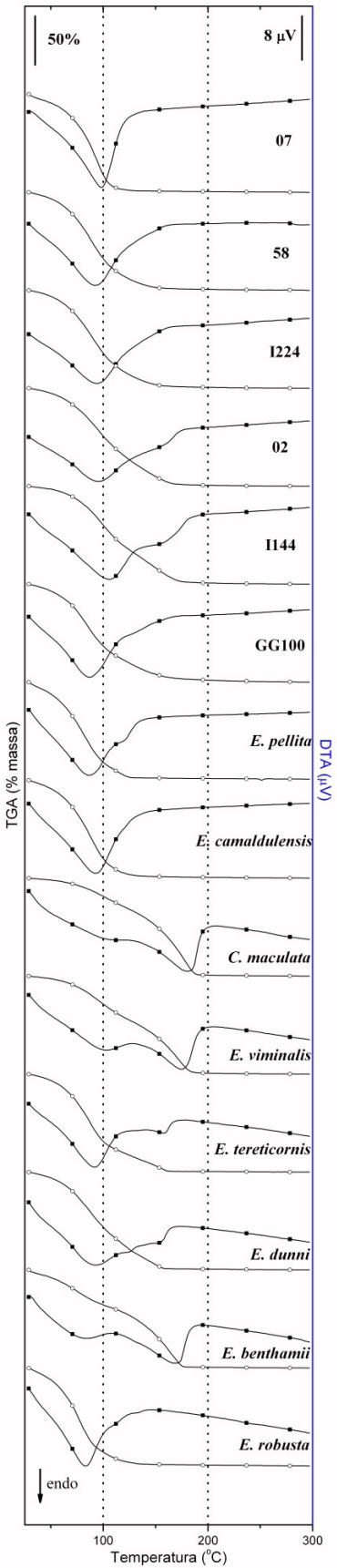


Figura 4. Curvas de TGA e DTA dos óleos essenciais de *E. camaldulensis* (clone 07), *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* (clone 58), *E. urophylla* (clone I224), *E. urophylla* (clone 02), *E. urophylla* x *E. grandis* (clone I144), *E. urophylla* x *E. grandis* (clone GG100), *E. pellita* de plantio seminal, *E. camaldulensis* de plantio seminal, *C. maculata, E. viminalis, E. tereticornis, E. dunnii, E. benthamii* e *E. robusta*.

que as amostras com temperatura inferior de perda de massa devem apresentar maior concentração de monoterpenos (Silveira et al., 2016).

Quando comparadas as análises térmicas aplicadas às espécies *E. pellita* e *E. camaldulensis* provenientes de plantio seminal, observam-se também diferentes comportamentos de perda de massa. *E. pellita* apresentou perda de massa na faixa de temperatura de 68 °C a 180 °C e *E. camaldulensis* na faixa de 57 °C a 157 °C. Por meio da comparação da curva de TGA-DTA de *E. camaldulensis* com a curva obtida para o composto puro 1,8-cineol, é possível fazer relação preliminar de que esse composto está presente de forma majoritária na amostra dessa espécie (Siqueira et al., 2016).

Composição química de óleos essenciais de diferentes espécies de eucaliptos

A Cromatografia Gasosa (GC) permite analisar os óleos essenciais de folhas de eucalipto quanto à sua composição química. Quando essa técnica é acoplada à Espectrometria de Massas (MS), por exemplo, permite inclusive a elucidação da estrutura de compostos presentes nas amostras analisadas (Coppen, 2002). O equipamento, neste caso, é composto por um cromatógrafo, uma interface e o espectrômetro de massas com câmara de ionização e detector de massas (Collins et al., 2009). Dessa forma, GC-MS é utilizada para comparar a composição do óleo essencial de diferentes genótipos do mesmo gênero (Silva et al., 2003; Durand et al., 2011). Na Embrapa Florestas foram estudados os perfis cromatográficos de oito genótipos de eucaliptos (Figura 5). Os compostos presentes nos óleos essenciais de eucaliptos podem ser classificados como hidrocarbonetos monoterpênicos (Tabela 2), monoterpenos oxigenados (Tabela 3), hidrocarbonetos sesquiterpênicos (Tabela 4) e sesquiterpenos oxigenados (Tabela 5) (Silveira; Fernandes, 2016; Siqueira et al., 2016).

Monoterpenos são isoprenoides compostos por 10 átomos de carbono, ou 2 unidades de isopreno, que compreende a molécula de dimetil-alil-difosfato (DMAPP) e isopentenil-difosfato (IPP), por exemplo (Figura 1) (Kirby; Keasling, 2009). Os monoterpenos constituem a classe mais simples de terpenos e geralmente apresentam características organolépticas (como odor e sabor) importantes (Peter, 2006). Os óleos essenciais de todas as espécies de *Eucalyptus* são ricos em compostos monoterpênicos, que podem ser classificados em hidrocarbonetos, nos quais se destacam o α-pineno e d-limoneno, e oxigenados, nos quais se destacam 1,8-cineol e l-α-terpineol, por exemplo (Bizzo et al., 2009).

O d-limoneno é um hidrocarboneto monoterpênico encontrado de forma majoritária no óleo essencial de algumas espécies de eucalipto (Tabela 2). Ele é utilizado pela indústria de cosméticos, alimentos e produtos de limpeza (Bakkali et al., 2008).

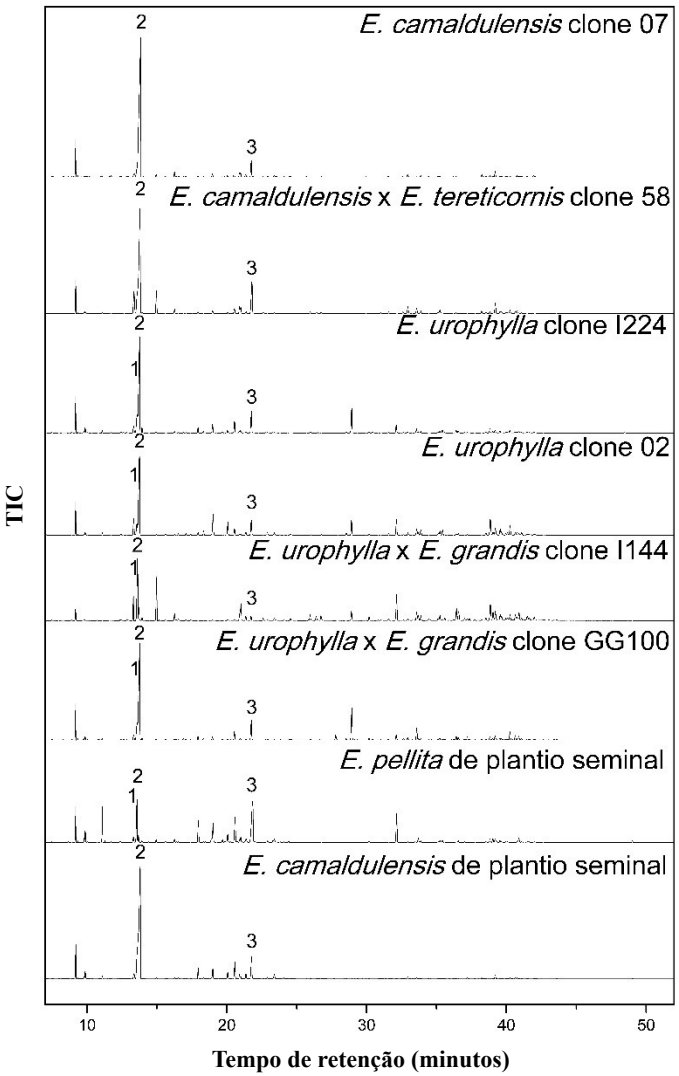


Figura 5. Cromatogramas obtidos por análise em GC-MS de óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. Sendo d-limoneno (1), eucaliptol (2), l-α-terpineol (3). (*) TIC: Total ion count (a intensidade do sinal é proporcional ao teor da molécula avaliada).

Tabela 2. Hidrocarbonetos monoterpênicos dos óleos essenciais dos genótipos *E. camaldulensis* clone 07 (1); *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* clone 58 (2); *E. urophylla* clone I224 (3)*; E. urophylla* clone 02 (4)*; E. urophylla* x *E. grandis* clone I144 (5); *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100 (6*)*; *E. pellita* proveniente de plantio seminal (7); *E. camaldulensis* proveniente de plantio seminal (8).

Componentes	CAS#	Concentração dos componentes no óleo essencial (%)							
Amostras		1	2	3	4	5	6	7	8
α-pineno	80-56-8	5,166	4,674	5,961	4,629	2,094	5,356	5,042	4,883
Fencheno	471-84-1	ND	ND	0,439	ND	ND	0,283	0,936	0,444
Canfeno	79-92-5	ND	0,390	1,220	0,651	0,115	0,775	2,678	1,509
(+)-β–pineno	127-91-3	0,196	0,255	0,544	0,122	ND	0,378	5,814	0,630
(-)-β-pineno	18172-67-3	ND	ND	ND	0,544	ND	ND	ND	ND
β-mirceno	123-35-3	0,229	0,073	0,084	ND	ND	ND	0,250	ND
α–felandreno	99-83-2	ND	0,108	ND	0,343	0,126	ND	ND	ND
p-cimeno	99-87-6	1,561	7,039	2,196	4,436	3,210	1,549	1,740	ND
d-limoneno	5989-27-5	ND	ND	7,747	4,049	17,814	6,970	12,687	ND
trans-ocimeno	3779-61-1	ND	ND	ND	ND	0,526	ND	ND	ND
γ-terpineno	99-85-4	ND	4,960	0,214	0,132	8,895	0,131	0,648	0,189
Terpinoleno	586-62-9	1,108	0,970	0,415	0,145	1,486	0,293	0,837	0,254
p-cimeneno	1195-32-0	ND	ND	ND	ND	0,385		0,336	

*IR – Índice de Retenção.
*IR lit. – Índice de Retenção Encontrado na Literatura (Van Den Dool).
*ND – Não Detectado.

Tabela 3. Monoterpenos oxigenados dos óleos essenciais dos genótipos *E. camaldulensis* clone 07 (1); *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* clone 58 (2); *E. urophylla* clone I224 (3)*; E. urophylla* clone 02 (4)*; E. urophylla* x *E. grandis* clone I144 (5); *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100 (6*)*; E. pellita* proveniente de plantio seminal (7); *E. camaldulensis* proveniente de plantio seminal (8).

Componentes	CAS#	Concentração dos componentes no óleo essencial (%)							
Amostras		1	2	3	4	5	6	7	8
1,8-cineol	470-82-6	77,067	49,798	40,175	28,579	2,313	41,384	1,565	64,921
Óxido de cis-linalool	5989-33-3	ND	ND	ND	ND	ND	0,159	ND	0,087
Óxido de linalool	1365-19-1	0,088	ND	ND	0,099	0,127	ND	ND	ND
Óxido de α-pineno	1686-14-2	ND	0,119	0,126	ND	ND	0,385	ND	0,079
Fenchol	1632-73-1	0,170	0,353	1,313	0,701	ND	0,797	6,559	2,661
α-canfolenal	4501-58-0	0,047	0,082	0,495	1,135	ND	0,430	0,342	0,374
(-)-trans-pinocarveol	547-61-5	0,562	0,696	2,331	6,562	0,108	0,725	6,468	2,646
3-metilcanfenilol	465-31-6	ND	ND	0,257	0,122	ND	0,183	0,824	0,207
2,2,6-trimetil-3,5-heptanediona	7333-23-5	ND	ND	ND	0,134	ND	ND	ND	ND
Cloreto de bornila	464-41-5	ND	ND	ND	3,578	ND	ND	0,137	ND
Borneol	507-70-0	0,585	1,539	3,702	1,695	ND	2,408	ND	4,679
Terpinen-4-ol	562-74-3	0,990	1,405	0,706	0,249	4,312	0,400	1,308	0,537
l-α-terpineol	10482-56-1	4,273	10,925	7,187	4,548	1,075	6,402	22,932	6,545
Verbenona	80-57-9	ND	ND	ND	0,093	ND	ND	0,089	ND
trans-carveol	1197-07-5	ND	ND	ND	0,704	ND	0,220	1,116	ND
cis-carveol	1197-06-4	ND	ND	ND	0,090	ND	ND	0,141	0,148
α-felandreno-epóxido	72138-69-3	ND	ND	ND	0,158	0,530	ND	ND	ND
d-carvona	2244-16-8	ND	ND	ND	0,110	0,106	ND	0,157	0,270
Piperitona	89-81-6	ND	ND	ND	0,384	0,572	ND	ND	0,095
Acetato de bornila	76-49-3	ND	ND	0,331	0,142		0,176	ND	0,059
Carvacrol	499-75-2	ND	0,379	ND	0,248	1,457	ND	0,079	ND
Timol	89-83-8	ND	ND	ND	ND	1,383	ND	ND	ND
Geraniato de metila	2349-14-6	ND	ND	ND	ND	ND	1,509	ND	ND
Acetato de α-terpenila	80-26-2	ND	ND	8,045	3,956	2,329	10,903	ND	ND
Acetato de geranial	105-87-3	ND	ND	ND	ND	ND	0,329	ND	ND

*IR – Índice de Retenção.
*IR lit. – Índice de Retenção Encontrado na Literatura (Van Den Dool).
*ND – Não Detectado.v

Tabela 4. Hidrocarbonetos sesquiterpênicos dos óleos essenciais de *E. camaldulensis* clone 07 (1); *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* clone 58 (2); *E. urophylla* clone I224 (3); *E. urophylla* clone 02 (4); *E. urophylla* x *E. grandis* clone I144 (5); *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100 (6); *E. pellita* proveniente de plantio seminal (7); *E. camaldulensis* proveniente de plantio seminal (8).

Componentes	CAS#	Concentração dos componentes no óleo essencial (%)							
Amostras		1	2	3	4	5	6	7	8
α-copaeno	3856-25-5	ND	ND	0,279	0,282	0,850	0,420	0,395	ND
β-elemeno	515-13-9	ND	ND	ND	0,079	0,101	ND	0,038	ND
Cariofileno	87-44-5	ND	ND	2,467	4,653	7,325	1,527	9,539	ND
β-gurjuneno	17334-55-3	0,080	0,477	ND	ND	ND	ND	ND	0,150
Aromadendreno	489-39-4	0,777	2,160	0,374	0,857	0,665	0,656	0,198	0,570
Humuleno	6753-98-6	ND	ND	0,371	0,586	1,250	0,320	1,248	ND
Aloaromadendreno	25246-27-9	0,260	0,676	0,442	1,559	1,225	0,441	0,440	0,085
Viridifloreno	21747-46-6	ND	1,156	ND	1,171	1,338	0,575	ND	0,110
Elixeno	3242-08-8	ND	ND	0,855	1,605	ND	0,318	0,673	ND
α-selineno	473-13-2	ND	ND	ND	ND	0,258	ND	ND	ND
β-guaieno	88-84-6	ND	ND	0,120	0,091	0,515	0,208	0,092	ND
γ-cadineno	39029-41-9	ND	0,089	ND	0,096	0,164	ND	0,044	ND
β-cadineno (-)	523-47-7	ND	0,184	0,823	0,489	ND	1,113	0,183	ND
δ-cadineno	483-76-1	ND	ND	ND	ND	3,341	ND	ND	ND
Calameneno	483-77-2	ND	ND	0,691	0,544	2,929	0,739	0,537	ND
Cadina-1,4-dieno	16728-99-7	ND	ND	0,126	0,067	0,535	0,239	0,410	ND
Cadaleno	483-78-3	ND	ND	ND	ND	0,203	ND	0,166	ND

*IR – Índice de Retenção.
*IR lit. – Índice de Retenção Encontrado na Literatura (Van Den Dool).
*ND – Não Detectado.

Tabela 5. Sesquiterpenos oxigenados dos óleos essenciais de *E. camaldulensis* clone 07 (1); *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* clone 58 (2); *E. urophylla* clone I224 (3); *E. urophylla* clone 02 (4); *E. urophylla* x *E. grandis* clone I144 (5); *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100 (6); *E. pellita* proveniente de plantio seminal (7); *E. camaldulensis* proveniente de plantio seminal (8).

Componentes	CAS#	Concentração dos componentes no óleo essencial (%)							
Amostras		1	2	3	4	5	6	7	8
Ledol	577-27-5	ND	0,266	ND	ND	ND	ND	0,060	0,074
Espatulenol	6750-60-3	0,452	ND	1,460	5,190	4,830	1,028	1,092	0,152
Globulol	489-41-8	1,633	3,032	0,942	2,397	3,012	1,477	1,605	1,226
Viridiflorol	552-02-3	0,067	0,455	0,630	ND	ND	ND	ND	0,095
Rosifoliol	63891-61-2	0,109	0,302	0,304	0,811	0,660	ND	ND	ND
Agarospirol	1460-73-7	ND	ND	ND	ND	ND	0,417	ND	ND
α-cadinol	481-34-5	ND	ND	ND	0,434	0,924	ND	0,204	ND

*IR – Índice de Retenção.
*IR lit. – Índice de Retenção Encontrado na Literatura (Van Den Dool).
*ND – Não Detectado.

Limoneno, α-pineno, p-cimeno e γ-terpineno já foram relacionados à atividade antimicrobiana do óleo essencial de eucalipto (Batish et al., 2008). Dentre as atividades farmacológicas testadas para o α-pineno isoladamente, esse composto apresentou resultado positivo para atividade antinociceptiva, antifúngica e antibacteriana (Adam et al., 1998; Him et al., 2008; Nissen et al., 2010).

Os monoterpenos oxigenados dos óleos essenciais de eucalipto compreendem alcoóis, como linalool e terpinen-4-ol; éteres como o 1,8-cineol; aldeídos como α-canfolenal e cetonas como a verbenona e piperitona (Tabela 4) (Bizzo et al., 2009; Regnault-Roger et al., 2011). O 1,8-cineol é o principal terpeno do óleo essencial de eucalipto de interesse industrial, sendo que as espécies cultivadas para seu uso terapêutico apresentam majoritariamente esse composto (Dhakad et al., 2017). Isto porque ele apresenta atividade antialérgica, anti-inflamatória e antimicrobiana (Juergens et al., 2004; Liapi et al., 2007; Batish et al., 2008). O α-terpineol é um monoterpeno oxigenado também encontrado dentre os compostos majoritários, em algumas espécies do gênero. Ele é principalmente utilizado na indústria de perfumaria e apresenta atividade farmacológica analgésica, antimicrobiana, antinociceptiva, entre outras (Quintans-Júnior et al., 2011; Park et al., 2012).

Sesquiterpenos são isoprenoides compostos por 15 átomos de carbono, ou seja, três unidades de isopreno (Figura 1) (Kirby; Keasling, 2009). Eles são menos voláteis e apresentam características organolépticas mais sutis quando comparados aos monoterpenos (Peter, 2006). Os sesquiterpenos do óleo essencial de eucalipto também podem ser classificados em hidrocarbonetos e oxigenados, dentre os quais foram encontrados apenas compostos com função álcool nas espécies estudadas pela Embrapa Florestas (Tabela 5). Dentre os hidrocarbonetos sesquiterpênicos do óleo essencial do eucalipto, destaca-se o cariofileno, presente em fragrâncias de cosméticos. Esse composto apresenta potencial anestésico e anti-inflamatório (Tabela 4) (Ghelardini et al., 2001; Fernandes et al., 2007).

Dentre os sesquiterpenos oxigenados, o globulol é um dos compostos que se destaca, apresentando atividade antifúngica e antibacteriana. É encontrado em grande quantidade em *E. globulus* (Tan et al., 2008).

Por meio da análise de GC-MS dos óleos essenciais obtidos de eucaliptos provenientes de seleção genética e cultivo seminal da Embrapa Florestas (Tabelas 2-5), é possível destacar as espécies que apresentam vantajosas concentrações de seus componentes majoritários. O 1,8-cineol foi o composto majoritário encontrado em todas as amostras, com exceção de *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100 e *E. pellita,* cujos componentes majoritários foram d-limoneno (17,8%) e l-α-terpineol (22,9%), respectivamente. Nos demais óleos essenciais, o 1,8-cineol foi encontrado nas concentrações de 28,6% a 77,1%. *E. camaldulensis, E. camaldulensis* x *E. tereticornis, E. urophylla e E. urophylla* x *E. grandis* apresentaram concentrações significativas de 1,8-cineol, com exceção do clone I144. O clone I144 e *E. pellita* apresentaram as

maiores concentrações de d-limoneno e *E. pellita* apresentou a maior concentração de l-α-terpineol. As estruturas dos compostos majoritários encontrados nesses estudos dos óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. estão representadas na Figura 6.

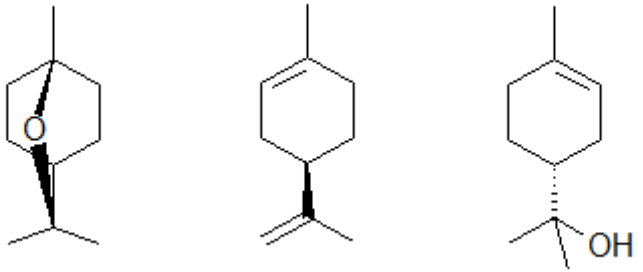


Figura 6. Compostos majoritários dos óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. analisados quanto à sua composição pela Embrapa Florestas.

Nesse estudo, *E. camaldulensis* apresentou concentrações de 1,8-cineol superiores (77,1% e 65,0%) àquelas encontradas na literatura para essa espécie (20,6% - 58,9%) (Cimanga et al., 2002; Jemâa et al., 2013). *E. globulus* é a principal espécie explorada para obtenção de 1,8-cineol no mundo (Vitti; Brito, 2003). O óleo essencial dessa espécie apresentou aproximadamente 33,62% desse composto, inferior ao obtido para os clones 07, 58, I224, GG100 e *E. camaldulensis* proveniente de plantio seminal. O óleo essencial comercial de *E. globulus* apresentou 10,09% de d-limoneno, inferior ao valor obtido para o clone I144 e *E. pellita* (Kumar et al., 2012).

As concentrações dos compostos encontrados majoritariamente por grama de folha dos eucaliptos estudados são dispostas na Tabela 6. *E. camaldulensis* clone 07 apresentou a maior quantidade de 1,8-cineol por grama de folha, e também apresentou a maior porcentagem desse constituinte no óleo essencial (Tabela 3). Assim como *E. pellita* proveniente de plantio seminal, apresentou a maior quantidade de l-α-terpineol por grama de folha e porcentagem desse composto no óleo essencial. *E. urophylla* x *E. grandis* clone I144 apresentou quantidade de d-limoneno por grama de folhas inferior

Tabela 6. Quantidade de 1,8-cineol, d-limoneno e l-α-terpineol por grama de folha de *E. camaldulensis* clone 07 (1); *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* clone 58 (2); *E. urophylla* clone I224 (3)*; E. urophylla* clone 02 (4)*; E. urophylla* x *E. grandis* clone I144 (5); *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100 (6*)*; E. pellita* proveniente de plantio seminal (7); *E. camaldulensis* proveniente de plantio seminal (8).

Constituinte	Concentração por grama de folha (mg)							
Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8
1,8-cineol	27,59	8,57	6,11	2,92	0,19	10,06	0,14	14,22
d-limoneno	N.D.	0,00	1,18	0,41	1,44	1,69	1,13	0,00
l-α-terpineol	1,53	1,88	1,09	0,46	0,09	1,56	2,04	1,43

àquela de *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100, apesar da sua porcentagem ser superior no óleo essencial do segundo clone.

Outra comparação que pode ser realizada a partir dos dados de GC-MS é a de predominância de classes moleculares (Tabela 7). Dentre as amostras de óleo essencial de eucaliptos analisadas, todas apresentaram maior concentração de monoterpenos em relação aos sesquiterpenos. A maior parte das amostras apresentou um monoterpeno como constituinte majoritário em concentrações de, no mínimo, 17,8%, aumentando significativamente a concentração dessa classe molecular, que já é conhecida por estar presente em abundância nos óleos essenciais deste gênero (Bizzo et al., 2009).

Tabela 7. Predominância das classes moleculares na composição dos óleos essenciais de *E. camaldulensis* clone 07 (1); *E. camaldulensis* x *E. tereticornis* clone 58 (2); *E. urophylla* clone I224 (3); *E. urophylla* clone 02 (4); *E. urophylla* x *E. grandis* clone I144 (5); *E. urophylla* x *E. grandis* clone GG100 (6); *E. pellita* proveniente de plantio seminal (7); *E. camaldulensis* proveniente de plantio seminal (8).

Classe molecular	Concentração em porcentagem (%) e quantidade de constituintes da classe*							
Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8
Monoterpenos	92 (13)	84 (17)	83 (20)	65 (28)	49 (20)	82 (23)	73 (22)	91 (20)
Sesquiterpenos	3 (7)	9 (10)	10 (14)	21 (17)	30 (18)	9 (14)	17 (17)	3 (8)
Outros	0	0	0,1 (1)	4 (3)	2 (5)	0,6 (2)	0,2 (2)	0

*Os números entre parênteses se referem a quantidade de constituintes da classe molecular.

Aplicações do óleo essencial de eucaliptos

O óleo essencial de eucalipto apresenta atividade antibacteriana, antioxidante, anti-inflamatória e pesticida, demonstrando ação contra fungos, insetos e plantas daninhas (Batish et al., 2008; Sebei et al., 2015; Luís et al., 2016; Zhou et al., 2016; Dhakad et al., 2017; Puig et al., 2019). Ele é explorado pela indústria farmacêutica para o tratamento de tosses e resfriados nas fórmulas de xaropes, banhos de vapor, pastilhas, pomadas, entre outras (Ray et al., 2015). Também é usado em produtos indicados como descongestionantes nasais e preparações para inalação (Dhakad et al., 2017). Existem diversas outras possíveis aplicações do óleo essencial de eucalipto, como: estimulante, antiviral, hepatoprotetor e adstringente, podendo também ser aplicado na cicatrização de queimaduras, úlceras dérmicas, feridas, no tratamento de diabetes, diarreia, câncer, enfisema, herpes, micoses, tuberculose, infecções do trato urinário, entre outras. Nas indústrias alimentícia e de produtos de limpeza, o óleo essencial do eucalipto pode ser aplicado como flavorizante e desinfetante (Sadlon; Lamson, 2010), sendo que a atividade antimicrobiana dos óleos de eucalipto é associada a compostos

como 1,8-cineol, limoneno, α-terpineol, p-cimeno, α-pineno, γ-terpineno e aromadendreno (Batish et al., 2008).

As espécies de eucalipto exploradas para a extração de óleo essencial, com fins terapêuticos apresentam majoritariamente 1,8-cineol (Dhakad et al., 2017). Esse composto tem a capacidade de inibir a produção de citocinas, o que explica sua ação antialérgica (Juergens et al., 2004). Além disso, o 1,8-cineol apresenta atividade anti-inflamatória, por inibir mediadores do processo inflamatório (Juergens et al., 2004; Liapi et al., 2007).

O d-limoneno, também encontrado de forma majoritária em algumas espécies de eucalipto, é aplicado em perfumes, cremes e sabonetes e pode ser usado como aditivo que contribui para o sabor de alimentos e aromatizante em produtos de limpeza (Bakkali et al., 2008; Dhakad et al., 2017). É utilizado terapeuticamente para dissolver cálculos biliares e aliviar azia, pois neutraliza a acidez e melhora o peristaltismo (Sun, 2007). O limoneno e o álcool perílico, ambos monoterpenos, podem prevenir câncer de mama, fígado, pulmão entre outros, além de ser estudada sua aplicação no tratamento de neuroblastomas e leucemias (Gould, 1997). Além disso, apresenta atividade antimicrobiana e antioxidante (Zahi et al., 2015; Bai et al., 2016).

Enquanto o α-terpineol, também encontrado em abundância no óleo essencial de algumas espécies do gênero, é utilizado na indústria de perfumaria (Khaleel et al., 2018). Apresenta como atividades farmacológicas: analgésica, antimicrobiana, antinociceptiva, entre outras (Quintans-Júnior et al., 2011; Park et al., 2012).

Diante das diferentes aplicações indicadas individualmente para cada composto, e dado que a composição é uma das características mais relevantes para o valor comercial do óleo essencial, estudos da composição do óleo essencial de eucaliptos podem auxiliar na escolha de espécies para plantios florestais.

Relação do óleo essencial de eucalipto com a resistência ao *Glycaspis brimblecombei* – Um estudo de caso

Glycaspis brimblecombei (Hemiptera: Aphalaridae), também chamado de psilídeo-de-concha, é um inseto que causa danos ao eucalipto que podem levar à diminuição do crescimento e morte. Mudanças nos compostos químicos da planta podem levar a maior ou menor susceptibilidade do eucalipto ao ataque desse inseto, portanto diferentes genótipos de *Eucalyptus* apresentam diferentes susceptibilidades a ele (Pereira et al., 2013; Camargo et al., 2014).

Estudos realizados pela Embrapa Florestas mostraram que espécies de eucalipto suscetíveis ao ataque do psilídeo podem apresentar menor concentração e variabilidade

de sesquiterpenos em seus óleos essenciais. Além disso, a ausência de compostos como β-guaieno, calameneno, α-copaeno, α- terpenil acetato, 1,4-cadinadieno, d-limoneno, cariofileno, metil-geranato, óxido de cis-linalool, acetato de geranila e agaruspirol pode estar relacionada a essa suscetibilidade (Silveira et al., 2016; Silveira; Fernandes, 2016). Complementarmente, a concentração de 1,8-cineol também pode apresentar importante influência sobre esse aspecto (Lucia et al., 2016; Siqueira et al., 2016).

Além disso, o perfil térmico de diferentes amostras de óleo essencial de eucalipto pode ser relacionado à sua susceptibilidade a pragas como o *Glycaspis brimblecombei*, uma vez que as diferenças dos comportamentos térmicos estão relacionadas à composição química dos óleos essenciais. Esse resultado pode subsidiar ou orientar a seleção de materiais genéticos visando a resistência ao ataque dessa praga florestal (Siqueira et al., 2016; Denardin et al., 2017a).

Cenário brasileiro para exportações e importações de óleos essenciais de eucaliptos

Historicamente, o Brasil tem exportado mais do que importado óleos essenciais de eucaliptos, em valor FOB, com exceção dos anos 2012 e 2013 (Figura 7). Em 1997 o Brasil exportava apenas 1,27 milhões de dólares e em 2018 esses valores passaram a 7,21 milhões de dólares, resultando em um aumento de 466% nas exportações. Já nas importações, o aumento foi de 157%, passando de 1,88 milhões de dólares em 1997, para 4,83 milhões de dólares em 2018 (Brasil, 2019).

Em série histórica, os países que têm representado a maior importância para as exportações são: Reino Unido, Espanha, Suíça, Estados Unidos, França, Alemanha, México e China (Figura 8). Desde 2014 as exportações somadas para o Reino Unido e a Espanha têm sido superiores a 56% de todo óleo essencial vendido ao exterior.

Enquanto os países que têm representado a maior importância para as importações são: China, Reino Unido, França, Paraguai, Estados Unidos, Espanha e Itália (Figura 9). Desde 2010 as importações somadas da China e do Reino Unido têm sido superiores a 55% de todo óleo essencial comprado do exterior. Nos anos de 2017 e 2018 as importações da China foram superiores a 51%.

Os valores pagos e recebidos pelo quilograma de óleo essencial de eucalipto têm mantido um equilíbrio entre os anos de 1997 e 2016. Desde 2017, os valores do quilograma pagos para importação são maiores que os valores recebidos nas exportações (Figuras 10, 11 e 12). Esse pode ser um indicativo que o mercado brasileiro está buscando óleos essenciais de melhor qualidade e está sugerindo uma necessidade de termos materiais mais adequados para atender o mercado interno brasileiro.

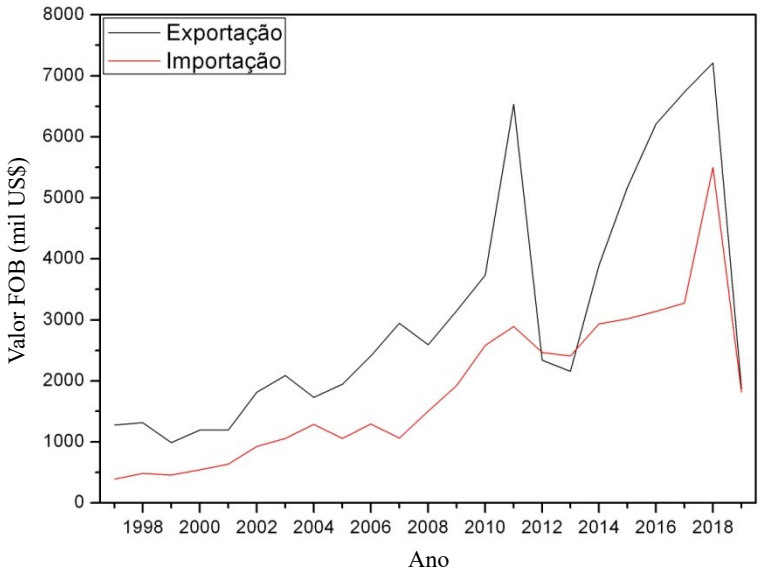


Figura 7. Cenário de exportações e importações de óleos essenciais de eucalipto desde 1997 a abril de 2019.

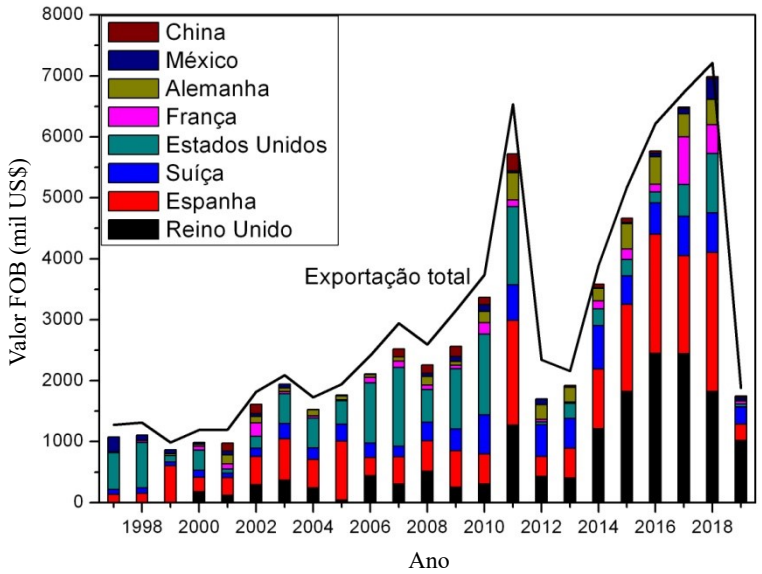


Figura 8. Principais exportadores de óleos essenciais de eucalipto ao Brasil, no período de 1997 a abril de 2019.

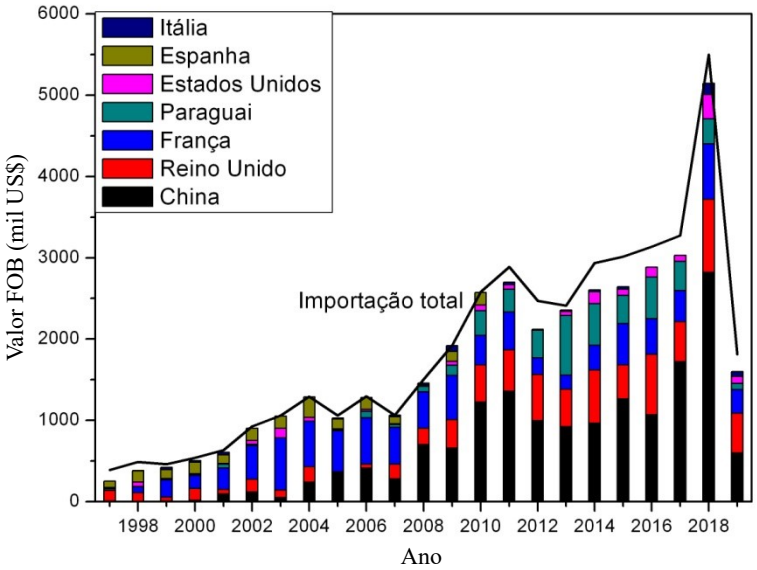


Figura 9. Principais parceiros comerciais que o Brasil importou óleos essenciais de eucalipto desde 1997 a abril de 2019.

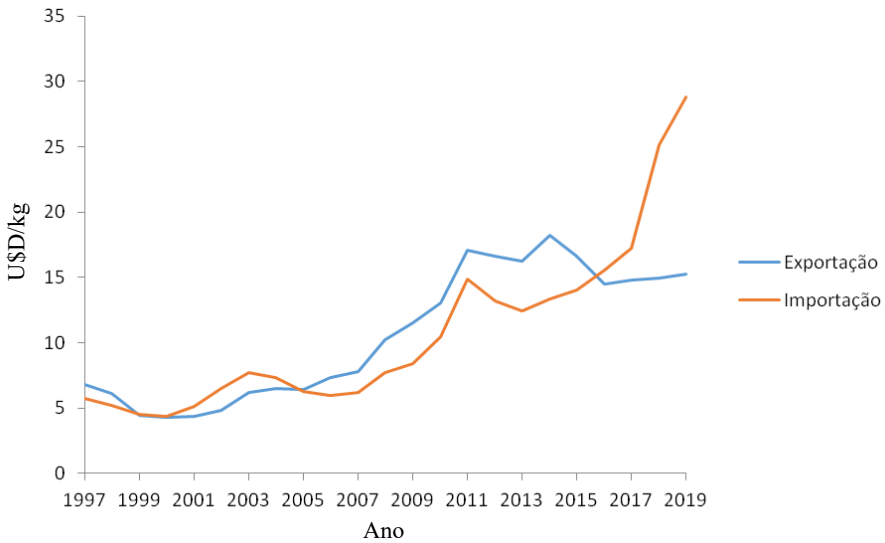


Figura 10. Valores pagos por kg de óleos essenciais de eucalipto, nas exportações e importações desde 1997 a abril de 2019.

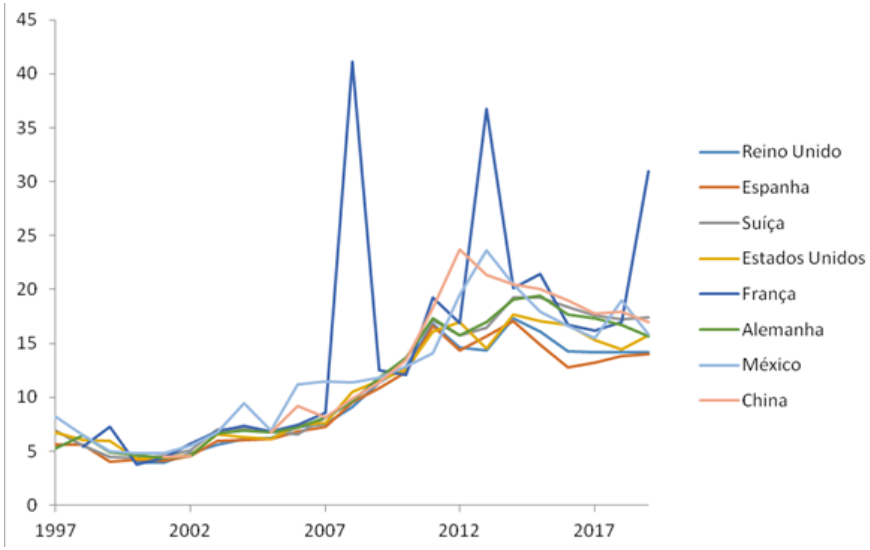


Figura 11. Valores pagos por Kg de óleos essenciais de eucalipto dos principais países que o Brasil exportou no período de 1997 a abril de 2019.

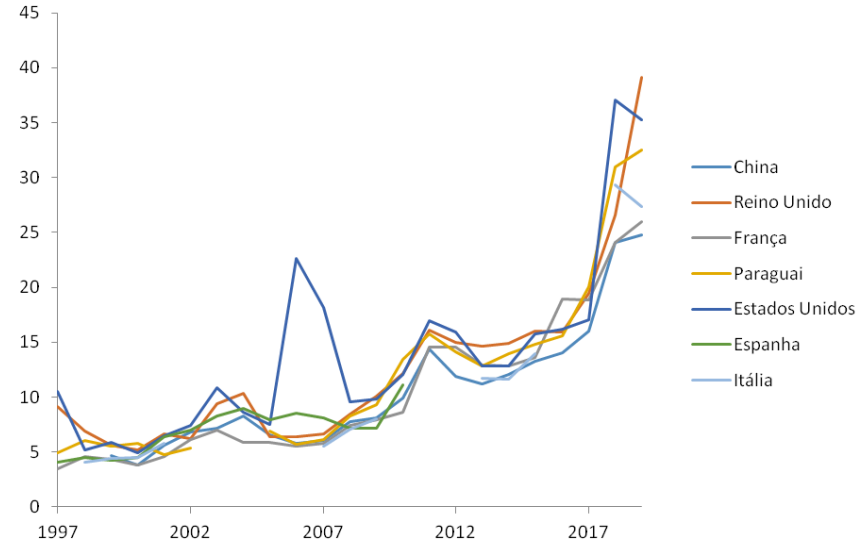


Figura 12. Valores pagos por Kg de óleos essenciais de eucalipto dos principais países que o Brasil importou no período de 1997 a abril de 2019.

Visão de futuro para os óleos essenciais de eucaliptos

As plantações de eucalipto ocupam 7,4 milhões de hectares (mais de 75% das florestas plantadas, sendo 41,9% na região Sudeste). No ano de 2017 foram produzidas 81.487 toneladas de folhas de eucalipto, representando rendimento de mais de 5 milhões de reais (IBGE, 2017). Desta forma, considerando um plantio de eucalipto 2 m x 3 m (1.666 árvores por hectare), com uma produção anual de folhas mínima de 10 kg/árvore ano e uma produtividade de óleo essencial mínima de 1%, temos um potencial de produção de óleos essenciais de folhas de eucalipto em plantios com outras finalidades de 160 kg/ha. Esses resultados de produtividade de óleos essenciais de eucalipto podem variar e serem melhorados por meio de melhoramento genético, adubação, melhoria de metodologia para extração desses produtos.

Dependendo da composição dos óleos essenciais de eucalipto, esses podem ser direcionados para finalidades diferentes, considerando as vantagens por serem produtos biodegradáveis e *eco-friendly*. No entanto, existe a demanda por mais estudos a respeito de métodos de obtenção para redução de custos e suas aplicações (Dhakad et al., 2018).

A composição dos óleos essenciais está associada ao material genético do qual é proveniente e ao processo de obtenção e purificação desses produtos. Contudo, são escassas informações da composição e aplicações dos óleos essenciais provenientes de espécies de eucaliptos e corímbias diferentes das tradicionalmente usadas para este fim. Por isso são necessárias avaliações e desenvolvimento de novas aplicações usando óleos essenciais de espécies de eucalipto cultivadas para fins madeireiros, que são a maioria. Dessa forma, o Brasil tem potencial para aumentar a geração de riquezas provenientes das espécies cultivadas para fins madeireiros.

Referências

ADAM, K.; SIVROPOULOU, A.; KOKKINI, S.; LANARAS, T.; ARSENAKIS, M. Antifungal activities of *Origanum vulgare* subsp. *hirtum, Mentha spicata, Lavandula angustifolia*, and *Salvia fruticosa* essential oils against human pathogenic fungi. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1739-1745, 1998. DOI: http://doi.org/10.1021/jf9708296.

AZIZ, Z. A. A.; AHMAD, A.; SETAPAR, S. H. M.; KARAKUCUK, A.; AZIM, M. M.; LOKHAT, D.; RAFATULLAH, M.; GANASH, M.; KAMAL, M. A.; ASHRAF, G. M. Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential: a review. **Current Drug Metabolism**, v. 19, 2018. DOI: http://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850.

BAI, J.; ZHENG, Y.; WANG, G.; LIU, P. Protective effect of D-Limonene against oxidative stress-induced cell damage in human lens epithelial cells via the p38 Pathway. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2016, p. 1-12, 2016. DOI: http://doi.org/10.1155/2016/5962832.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils–a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008. DOI: http://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106.

BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. (ed.). **Handbook of essential oils**: science, technology, and applications. Boca Raton: CRC Press, 2010.

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; KOHLI, R. K.; KAUR, S. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 12, p. 2166-2174, 2008. DOI: http://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.008.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Comex stat**: exportação e importação geral. Disponível em: http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral. Acesso em: 15 maio 2019.

CAMARGO, J. M. M.; ZANOL, K. M. R.; QUEIROZ, D. L.; DEDECECK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; MELIDO, R. C. N. Resistência de clones de *Eucalyptus* ao Psilídeo-de-Concha. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 34, p. 91-97, 2014. DOI: http://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.77.504.

CHENG, S. S.; HUANG, C. G.; CHEN, Y. J.; YU, J. J.; CHEN, W. J.; CHANG, S. T. Chemical compositions and larvicidal activities of leaf essential oils from two *Eucalyptus* species. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 1, p. 452-456, 2009. DOI: http://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.038.

CIMANGA, K.; KAMBU, K.; TONA, L.; APERS, S.; DE BRUYNE, T.; HERMANS, N.; VLIETINCK, A. J. Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 79, n. 2, p. 213-220, 2002. DOI: http://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00384-1.

CLEVENGER, J. F. Apparatus for the determination of volatile oil. **The Journal of the American Pharmaceutical Association (1912)**, v. 17, n. 4, p. 345-349, 1928. DOI: http://doi.org/10.1002/jps.3080170407.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. (org.). **Fundamentos de cromatografia**. Campinas: Ed da Unicamp, 2009. 453 p.

COPPEN, J. J. W. **Eucalyptus**: the genus eucalyptus. New York: Taylor & Francis, 2002.

DHAKAD, A. K.; PANDEY, V. V.; BEG, S.; RAWAT, J. M.; SINGH, A. Biological, medicinal and toxicological significance of *Eucalyptus* leaf essential oil: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 833-848, 2017. DOI: http://doi.org/10.1002/jsfa.8600.

DENARDIN, I. C.; LAZZAROTTO, M.; LAZZAROTTO, S. R. S.; QUEIROZ, D. L. Caracterização térmica de óleos essenciais de eucalipto visando material genético resistente ao ataque de *Glycaspis brimblecombei*. In: SIMPÓSIO DE ANÁLISES TÉRMICAS, 8., Ponta Grossa, 2017. **Livro de resumos**. [Ponta Grossa: UEPG, 2017a]. p. 125-127.

DENARDIN, I. C.; LAZZAROTTO, M.; LAZZAROTTO, S. R. S.; QUEIROZ, D. L. Caracterização térmica e comparação da composição de óleos essenciais provenientes de folhas secas e frescas de eucalipto. In: SIMPÓSIO DE ANÁLISES TÉRMICAS, 8., Ponta Grossa, 2017. **Livro de resumos**. [Ponta Grossa: UEPG, 2017b]. p. 132-135.

DURAND, N.; RODRIGUES, J. C.; MATEUS, E.; BOAVIDA, C.; BRANCO, M. Susceptibility variation in *Eucalyptus* spp. in relation to *Leptocybe invasa* and *Ophelimus maskelli* (Hymenoptera: Eulophidae), two invasive gall wasps occurring in Portugal. **Silva Lusitana**, v. 19, 2011.

FERNANDES, E. S.; PASSOS, G. F.; MEDEIROS, R.; DA CUNHA, F. M.; FERREIRA, J.; CAMPOS, M. M.; PIANOWSKI, L. F; CALIXTO, J. B. Anti-inflammatory effects of compounds alpha-humulene and (−)-trans-caryophyllene isolated from the essential oil of *Cordia verbenacea*. **European Journal of Pharmacology**, v. 569, p. 228-236, 2007. DOI: http://doi.org/10.1016/j.ejphar.2007.04.059.

GHELARDINI, C.; GALEOTTI, N.; MANNELLI, L. D.; MAZZANTI, G.; BARTOLINI, A. Local anaesthetic activity of β-caryophyllene. **Il Farmaco**, v. 56, p. 387-389, 2001. DOI: http://doi.org/10.1016/S0014-827X(01)01092-8.

GOULD, M. N. Cancer chemoprevention and therapy by monoterpenes. **Environmental Health Perspectives**, v. 105, n. Suppl 4, p. 977, 1997. DOI: http://doi.org/10.1289/ehp.97105s4977.

HAZRA, A.; ALEXANDER, K.; DOLLIMORE, D.; RIGA, A. Characterization of some essential oils and their key components: thermoanalytical techniques. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 75, p. 317-330, 2004. DOI: http://doi.org/10.1023/B:JTAN.0000017352.86803.6d.

HIM, A.; OZBEK, H.; TUREL, I.; ONER, A. C. Antinociceptive activity of alpha-pinene and fenchone. **Pharmacologyonline**, v. 3, p. 363-369, 2008.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2017**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22620-pevs-2017-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-chega-a-r-19-1-bilhoes-e-cresce-3-4-em-relacao-a-2016>. Acesso em: 17 maio 2019.

IONASHIRO, M.; CAIRES, F. J.; GOMES, D. J. C. **Giolito**: fundamentos de termogravimetria e análise térmica diferencial: calorimetria exploratória diferencial. São Paulo: Ésper, 2014.

ISO. International Organization for Standardization. **Crude or rectified oils of *Eucalyptus globulus* (*Eucalyptus globulus* Labill.)**. 2002. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/32028.html>. Acesso em: 11 agosto 2019.

ISO. International Organization for Standardization. **Oil of *Eucalyptus citriodora* Hook**. 1997. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/8134.html>. Acesso em: 11 agosto 2019.

JEMÂA, J. M. B.; HAOUEL, S.; KHOUJA, M. L. Efficacy of *Eucalyptus* essential oils fumigant control against *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae) under various space occupation conditions. **Journal of Stored Products Research**, v. 53, p. 67-71, 2013. DOI: http://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.02.007.

JUERGENS, U. R.; ENGELEN, T.; RACKÉ, K.; STÖBER, M.; GILLISSEN, A.; VETTER, H. Inhibitory activity of 1, 8-cineol (eucalyptol) on cytokine production in cultured human lymphocytes and monocytes. **Pulmonary Pharmacology & Therapeutics**, v. 17, n. 5, p. 281-287, 2004. DOI: http://doi.org/10.1016/j.pupt.2004.06.002.

KHALEEL, C.; TABANCA, N.; BUCHBAUER, G. α-Terpineol, a natural monoterpene: a review of its biological properties. **Open Chemistry**, v. 16, p. 349-361, 2018. DOI: http://doi.org/10.1515/chem-2018-0040.

KIRBY, J.; KEASLING, J. D. Biosynthesis of plant isoprenoids: perspectives for microbial engineering. **Annual Review Plant Biology**, v. 60, p. 335-355, 2009. DOI: http://doi.org/1543-5008/09/0602-0335$20.00.

KUMAR, P.; MISHRA, S.; MALIK, A.; SATYA, S. Compositional analysis and insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* (family: Myrtaceae) essential oil against housefly (*Musca domestica*). **Acta Tropica**, v. 122, n. 2, p. 212-218, 2012. DOI: http://doi.org/10.1016/j.actatropica.2012.01.015.

LI, H.; MADDEN, J. L. Analysis of leaf oils from a *Eucalyptus* species trial. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 23, n. 2, p. 167-177, 1995. DOI: http://doi.org/10.1016/0305-1978(94)00087-W.

LIAPI, C.; ANIFANTIS, G.; CHINOU, I.; KOUROUNAKIS, A. P.; THEODOSOPOULOS, S.; GALANOPOULOU, P. Antinociceptive properties of 1, 8-cineole and β-pinene, from the essential oil of *Eucalyptus camaldulensis* leaves, in rodents. **Planta Medica**, v. 73, n. 12, p. 1247-1254, 2007. DOI: http://doi.org/10.1055/s-2007-990224.

LUCIA, A.; NASPI, C.; ZERBA, E.; MASUH, H. Infestation of *Glycaspis brimblecombei* moore on thirteen *Eucalyptus* species and their relationship with the chemical composition of essential oils. **Journal of Insects**, p. 1-7, 2016. DOI: http://doi.org/10.1155/2016/6340579.

LUÍS, A.; DUARTE, A.; GOMINHO, J.; DOMINGUES, F.; DUARTE, A. P. Chemical composition, antioxidant, antibacterial and anti-quorum sensing activities of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus radiata* essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 79, p. 274-282, 2016. DOI: http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.10.055.

MARTINS, P.; SBAITE, P.; BENITES, C.; MACIEL, M. Thermal characterization of orange, lemongrass and basil essential oils. **Chemical Engineering Transactions**, v. 24, p. 463-468, 2011. DOI: http://doi.org/10.3303/CET1124078.

NISSEN, L.; ZATA, A.; STEFANINI, I.; GRANDI, S.; SGORBATI, B.; BIAVATI, B.; MONTI, A. Characterization and antimicrobial activity of essential oils of industrial hemp varieties (*Cannabis sativa* L). **Fitoterapia**, v. 81, p. 413-419, 2010. DOI: http://doi.org/10.1016/j.fitote.2009.11.010.

PARK, S. N.; LIM, Y. K.; FREIRE, M. O.; CHO, E.; JIN, D.; KOOK, J. K. Antimicrobial effect of linalool and α-terpineol against periodontopathic and cariogenic bacteria. **Anaerobe**, v. 18, p. 369-372, 2012. DOI: http://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.04.001.

PEREIRA, J. M.; BALDIN, E. L. L.; SOLIMAN, E. P.; WILCKEN, C. F. Attractiveness and oviposition preference of *Glycaspis brimblecombei* Moore in *Eucalyptus spp*. **Phytoparasitica**, v. 41, p. 117-124, 2013. DOI: http://doi.org/10.1007/s12600-012-0268-7.

PETER, K. V. (ed.). **Handbook of herbs and spices**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006. v. 3.

PORTER, N. G.; WILKINS, A. L. Chemical, physical and antimicrobial properties of essential oils of *Leptospermum scoparium* and *Kunzea ericoides*. **Phytochemistry**, v. 50, p. 407-415, 1999. DOI: http://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00548-2.

PUIG, C. G.; REVILLA, P.; BARREAL, M. E.; REIGOSA, M. J.; PEDROL, N. On the suitability of *Eucalyptus globulus* green manure for field weed control. **Crop Protection**, v. 121, p. 57-65, 2019. DOI: http://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.03.016.

QUINTANS-JÚNIOR, L. J.; OLIVEIRA, M. G. B.; SANTANA, M. F.; SANTANA, M. T.; GUIMARÃES, A. G.; SIQUEIRA, J. S.; DE SOUSA, D. P.; ALMEIDA, R. N. **Pharmaceutical Biology**, v. 49, n. 6, p. 583-586, 2011. DOI: http://doi.org/10.3109/13880209.2010.529616.

RANTZSCH, U.; VACCA, G.; DÜCK, R.; GILLISSEN, A. Anti-inflammatory effects of myrtol standardized and other essential oils on alveolar macrophages from patients with chronic obstructive pulmonary disease. **European Journal of Medical Research**, v. 14, n. 4, p. 1, 2009. DOI: http://doi.org/10.1186/2047-783X-14-S4-205.

RAY, J.; GOYAL, P.; AGGARWAL, B. K. Approach of *Eucalyptus globulus* plant parts for human health safety and toxicological aspects. **British Open Journal of Plant Science**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2015.

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2011. DOI: http://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554.

SADLON, A. E.; LAMSON, D. W. Immune-modifying and antimicrobial effects of *Eucalyptus* oil and simple inhalation devices. **Alternative Medicine Review**, v. 15, n. 1, p. 33-43, 2010.

SALOMÉ-ABARCA, L. F.; SOTO-HERNÁNDEZ, R. M.; CRUZ-HUERTA, N.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V. Chemical composition of scented extracts obtained from *Calendula officinalis* by three extraction methods. **Botanical Sciences**, v. 93, n. 3, p. 633-638, 2015. DOI: http://doi.org/10.17129/botsci.143.

SANTOS, A. S.; ALVES, S. D. M.; FIGUEIREDO, F. J. C.; ROCHA NETO, O. G. da. **Descrição de sistema e de métodos de extração de óleos essenciais e determinação de umidade de biomassa em laboratório**. Belém do Pará: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 6 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 99). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/402448>.

SEBEI, K.; SAKOUHI, F.; HERCHI, W.; KHOUJA, M. L.; BOUKHCHINA, S. Chemical composition and antibacterial activities of seven *Eucalyptus* species essential oils leaves. **Biological Research**, v. 48, n. 7, 2015. DOI: http://doi.org/10.1186/0717-6287-48-7.

SIGMA-ALDRICH. ***Eucalyptus* oil**. Disponível em: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/w246603?lang=pt&region=BR>. Acesso em: 07 maio 2019a.

SIGMA-ALDRICH. ***Eucalyptus* oil *citriodora***. Disponível em: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/w523402?lang=pt&region=BR>. Acesso em: 07 maio 2019b.

SILVA, J.; ABEBE, W.; SOUSA, S. M.; DUARTE, V. G.; MACHADO, M. I. L.; MATOS, F. J. A. Analgesic and anti-inflammatory effects of essential oils of *Eucalyptus*. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 89, n. 2, p. 277-283, 2003. DOI: http://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.007.

SILVEIRA, A. C.; FERNANDES, M. **Estudo da composição do óleo essencial de 8 genótipos de *Eucalyptus* spp**. 2016. 31 f. Monografia - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVEIRA, A. C.; LAZZAROTTO, M.; SIQUEIRA, G. L. A.; LAZZAROTTO, S. R. S.; HORNUNG, P. S.; FERNANDES, M.; QUEIROZ, D. L.; MIGUEL, O. G. Thermal tool for evaluation of essential oils of *Eucalyptus* spp. susceptible and resistant to *Glycaspis brimblecombei.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE TÉRMICA E CALORIMETRIA, 10.; CONGRESSO PAN AMERICANO DE ANÁLISE TÉRMICA E CALORIMETRIA, 4., 2016, São Paulo. **Trabalhos** [...]. [S.l.]: ABRATEC, 2016. 4 p.

SIQUEIRA, G. L. A.; LAZZAROTTO, M.; FERNANDES, M.; SILVEIRA, A. C.; LAZZAROTTO, S. R. S.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; LACERDA, L. G.; QUEIROZ, D. L.; MIGUEL, O. G. Thermoanalytical evaluation of essential oils of the leaves from *Eucalyptus* spp susceptible and resistant to *Glycaspis brimblecombei*. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v. 5, p. 1-6, 2016. DOI: http://doi.org/10.18362/bjta.v5.i1.1.

SUN, J. D-Limonene: safety and clinical applications. **Alternative Medicine Review**, v. 12, n. 3, p. 259, 2007.

TAN, M.; ZHOU, L.; HUANG, Y.; WANG, Y.; HAO, X.; WANG, J. Antimicrobial activity of globulol isolated from the fruits of *Eucalyptus globulus* Labill. **Natural Product Research**, v. 22, n. 7, p. 569-575, 2008. DOI: http://doi.org/10.1080/14786410701592745.

VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. **Óleo essencial de eucalipto**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2003. 26 p. (Documentos florestais, 17).

ZAHI, M. R.; LIANG, H.; YUAN, Q. Improving the antimicrobial activity of d-limonene using a novel organogel-based nanoemulsion. **Food Control**, v. 50, p. 554-559, 2015. DOI: http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.10.001.

ZHOU, L. J.; LI, F. R.; HUANG, L. J.; YANG, Z. R.; YUAN, S.; BAI, L. H. Antifungal activity of *Eucalyptus* oil against rice blast fungi and the possible mechanism of gene expression pattern. **Molecules**, v. 21, n. 621, p. 2-11, 2016. DOI: http://doi.org/10.3390/molecules21050621.

19

Pragas de eucaliptos

Leonardo Rodrigues Barbosa
Dalva Luiz de Queiroz
Mariane Aparecida Nickele
Elisiane Castro de Queiroz
Wilson Reis Filho
Edson Tadeu Iede
Susete do Rocio Chiarello Penteado

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O termo eucalipto compreende mais de 700 espécies e variedades pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* (Myrtaceae) que têm ocorrência natural na Austrália, Papua Nova Guiné e Indonésia. No Brasil, espécies desses gêneros apresentam grande importância comercial, com área plantada de aproximadamente 5,6 milhões de hectares, sendo utilizada para diversas finalidades, como madeira para serraria, papel, celulose e carvão.

O Brasil possui grande diversidade de espécies pertencentes à família Myrtaceae que abrigam extensa fauna de insetos e, assim, muitos deles se adaptaram e migraram para o eucalipto, tornando-se pragas dessa cultura. Aliado a isso, as extensas áreas plantadas em sistema de monocultura favorecem o estabelecimento e dispersão destes insetos, com a ocorrência de danos de importância econômica (Barbosa et al., 2014). Além das pragas nativas, há uma grande ameaça proveniente das pragas exóticas, aquelas já introduzidas no Brasil, sejam aquelas que ainda não entraram, conforme pode ser observado na "Lista de pragas quarentenárias ausentes" publicada pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 2018), as quais são definidas com base em Análises de Risco de Pragas.

O complexo de pragas do eucalipto no Brasil compreende insetos nativos como: formigas cortadeiras (*Atta* spp. e *Acromyrmex* spp.), lepidópteros desfolhadores (*Thyrinteina arnobia* (Stoll, 1782), *Eupseudosoma involuta* (Sepp, 1952), *Sarsina violascens* (Herrich-Schaeffer, 1856)), besouros desfolhadores (*Costalimaita ferrugínea* (Fabricius, 1801), *Sternocolaspis quatuordecimcostata* (Lefréve, 1877)), cupins-das-mudas (*Syntermes* spp., *Cornitermes* spp. e *Nasutitermes* spp.)), cupins-do-cerne (*Coptotermes* spp. e *Heterotermes* spp.) e grilos (*Gryllus* spp.). Já o complexo de pragas exóticas introduzidas no Brasil compreende: o gorgulho-do-eucalipto (*Gonipterus platensis* Marelli, 1927 e *G. pulverulentus* Lea, 1897), a broca-do-eucalipto (*Phoracantha semipunctata* Fabricius, 1775 e *P. recurva* Newman, 1842), os psilídeos-de-ponteiro (*Ctenarytaina spatulata* Taylor, 1997, *C. eucalypti* Maskell, 1890 e *Blastopsylla accidentalis* Taylor, 1985), o psilídeo-de-concha (*Glycaspis brimblecombei* Moore, 1964), o ácaro-do-eucalipto (*Rhombacus eucalypti* Ghosh & Chakrabarti, 1987), a microvespa-do-citriodora (*Epichrysocharis burwelli* Schauff, 2000), a vespa-da-galha (*Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, 2004) e o percevejo-bronzeado (*Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006).

A Embrapa Florestas, por meio da equipe do Laboratório de Entomologia Florestal, desenvolve pesquisas para elaboração e implementação de Programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), com o objetivo de reduzir o potencial de danos ou deter o avanço de pragas florestais no Brasil. Este capítulo apresenta soluções tecnológicas obtidas pela Embrapa e parcerias pela Embrapa Florestas para prevenção

e manejo integrado de algumas pragas nativas e da maioria das pragas exóticas de eucalipto, além de medidas de proteção fitossanitária para pragas quarentenárias.

Contribuições à defesa sanitária florestal

O aumento do risco de introdução de pragas florestais exóticas, em nível mundial, principalmente as classificadas como quarentenárias nas últimas três décadas, passou a ser uma grande preocupação das Organizações Nacionais de Proteção Fitossanitária (ONPF) e da Convenção Internacional de Proteção dos Vegetais (CIPV) da FAO. Foram constatados vários registros de introdução de pragas tanto em plantios florestais quanto em florestas nativas, bem como em áreas urbanas vegetadas, com consequências negativas em termos econômicos, sociais e ambientais. Isto é decorrente da ampliação e intensificação do comércio internacional, desde a criação da Organização Mundial do Comércio (OMC). Antes da criação da OMC, as introduções estavam primariamente associadas ao comércio de vegetais e de seus subprodutos, mas hoje as pragas podem estar associadas a outros artigos como equipamentos e máquinas industriais e agrícolas, bagagem pessoal e principalmente embalagens e peças de suporte de mercadorias, fabricadas em madeira, containers, ou mesmo na cobertura de navios. As embalagens e materiais de suporte representam o maior risco, face à baixa qualidade da madeira utilizada para esse fim, bem como pelo volume que representam, dificultando a inspeção pelos Serviços de Defesa Fitossanitária (Cosave, 1997; Iede; Penteado, 2000; Iede et al., 2000; FAO, 2002).

Uma vez a praga internalizada no país, seu estabelecimento e dispersão são favorecidos pela presença de plantações monoespecíficas, ou monoclonais, muitas vezes mal manejadas com alta densidade de plantas e localizadas em regiões ou áreas edafoclimáticas inadequadas. No Brasil, áreas extensas e contínuas de reflorestamentos, principalmente com espécies de *Eucalyptus*, com uma base genética restrita, oferecem condições propícias para o estabelecimento e dispersão de pragas exóticas. A baixa resistência ambiental devido aos monocultivos, que não oferecem condições de abrigo e/ou alimentos para os inimigos naturais, assim como a própria ausência de inimigos naturais em ambientes onde a praga exótica foi introduzida, propiciam condições para uma rápida explosão populacional e dispersão do organismo invasor (Iede, 2005). Estes cenários demonstram que, gradativamente, vem aumentando o risco de introdução, estabelecimento e dispersão de pragas exóticas de eucalipto no País.

Como consequência do seu estabelecimento, a praga pode causar danos e perdas aos cultivos, perda de mercados de exportação, aumento de custos de produção, impactos sobre os programas de manejo integrado de pragas, aumento dos riscos de incêndio, danos ambientais e sociais, com a eliminação de postos de trabalho, entre

outros (Iede, 2005). As pragas invasoras normalmente colocam em risco a estabilidade e a produtividade dos ecossistemas. Na ausência de inimigos naturais, que regulam estas pragas no local de origem, suas populações aumentam rapidamente. Mesmo insetos que, na origem, não têm importância econômica, ou são considerados secundários, quando introduzidos em novas áreas, podem provocar perdas econômicas significativas, devido à ausência de mecanismos biológicos que regulem sua população (Wallner, 1996a, 1996b). Além disso, podem causar mudanças na composição da flora, perturbar atividades recreacionais, depreciar o valor de imóveis rurais e/ou residenciais e afetar a saúde humana.

As perdas provocadas pelo ataque às árvores dependem da espécie da praga, do tipo de dano que causa e do valor comercial da madeira. Deve-se estimar também os custos de remoção das plantas mortas, os custos de controle e os custos de replantio. Além disso, as pragas exóticas, muitas vezes, são quarentenárias para outros países que mantém relações comerciais com o país em que ela foi introduzida. Desta forma, o país importador pode impor barreiras fitossanitárias, causando entraves no comércio, ou mesmo a sua perda, devido ao aumento dos custos de produção, em função dos tratamentos fitossanitários. Não havendo comércio da madeira e de seus derivados, esta não é explorada no campo, acarretando problemas sociais como o desemprego e suas implicações, além de aumentar o risco de ataque de outras pragas ou o incremento da população da praga introduzida, face ao estresse propiciado pela super estocagem da madeira no campo (Iede et al., 2000). Normalmente, estes prejuízos paralelos às perdas no campo não são considerados pelos produtores e economistas.

A fim de diminuir o risco e a pressão de ingresso dessas pragas em novos ambientes, a Comissão Interina de Medidas Fitossanitária (CIMF) tem estabelecido Normas Internacionais de Medidas Fitossanitárias (NIMF) que vêm sendo internalizadas pelos países e têm contribuído para a melhoria dos mecanismos de controle quarentenário de pragas florestais.

A Embrapa Florestas, em conjunto com o Departamento de Sanidade Vegetal (DSV) do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), participa ativamente na elaboração de políticas públicas, desde o início da década de 1990, como membro do Grupo Técnico de Sanidade Florestal (GTSF), no âmbito do Comitê de Sanidade Florestal do Cone Sul (Cosave), subsidiando tecnicamente Resoluções, elaborando Estandares Regionais e realizando Análises de Risco de Pragas Florestais (ARP florestais), para a elaboração da Lista de Pragas Florestais Quarentenárias, para a região do Cosave. Participou também por dez anos, do Painel Técnico de Quarentena Florestal da CIMF/CIPV, para elaboração de Normas Internacionais de Medidas Fitossanitárias (NIMF).

Em 2016, a Embrapa Florestas publicou uma revisão sobre as pragas exóticas que ameaçam o setor florestal no Brasil, abordando tanto as pragas já introduzidas no país, quanto as pragas ausentes que apresentam riscos de entrada. Ao todo, foram citadas 57

espécies de insetos, com projeções sobre o risco atual e prioridades de monitoramento, em especial para eucalipto e pínus, que são responsáveis por 92% dos plantios florestais brasileiros com fins produtivos (Schühli et al., 2016). As pragas de eucalipto que estão ausentes no Brasil e que requerem atenção quanto ao potencial de entrada são os lepidópteros *Cossus cossus* (Linnaeus, 1758), *Zeuzera pyrina* (Linnaeus, 1761) e *Chilecomadia valdiviana* (Philippi, 1860) (Lepidoptera: Cossidae), os besouros desfolhadores *Trachymela tincticollis* (Blackburn, 1896), *Trachymela sloanei* (Blackburn, 1896), *Chrysophtharta mfuscum* (Boheman, 1859) e *Chrysophtharta bimaculata* (Olivier, 1807) (Coleoptera: Chrysomelidae) e as vespas-da-galha *Ophelimus eucalypti* (Gahan, 1922) e *Ophelimus maskelli* (Ashmead, 1900) (Hymenoptera: Eulophidae).

Contribuições para o manejo de pragas nativas

Formigas cortadeiras

As formigas cortadeiras que apresentam grande importância econômica aos plantios de eucalipto no Brasil pertencem aos gêneros *Atta* (saúvas) e *Acromyrmex* (quenquéns) (Hymenoptera: Formicidae). As saúvas são reconhecidas por apresentarem três pares de espinhos no tórax e construírem ninhos enormes cobertos por monte de terra solta (Figuras 1a e 1b). As quenquéns são reconhecidas por apresentarem de quatro a cinco pares de espinhos no tórax, além de tubérculos no gáster, e construírem ninhos com monte de terra solta, com monte de ciscos ou somente com olheiros (sem terra solta ou ciscos), dependendo da espécie (Figuras 2a e 2b).

Fotos: Mariane Aparecida Nickele

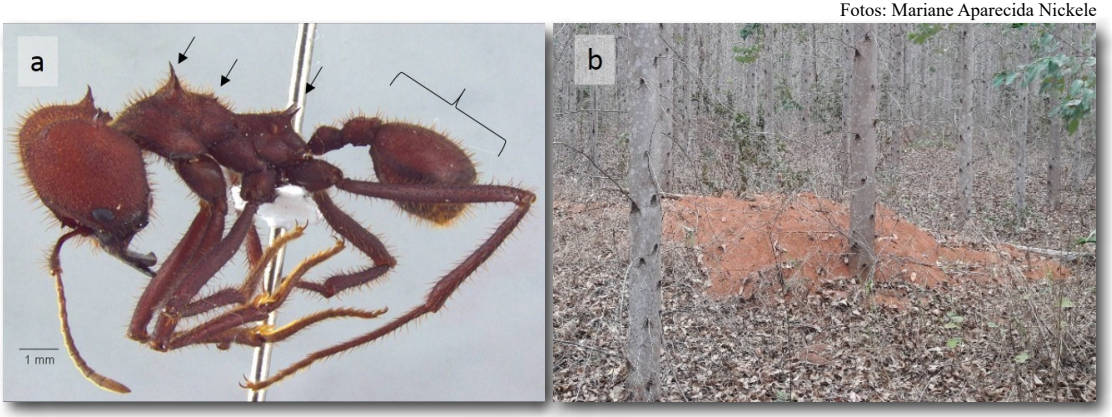


Figura 1. *Atta* (saúva): a) operária; b) ninho.

Fotos: Mariane Aparecida Nickele

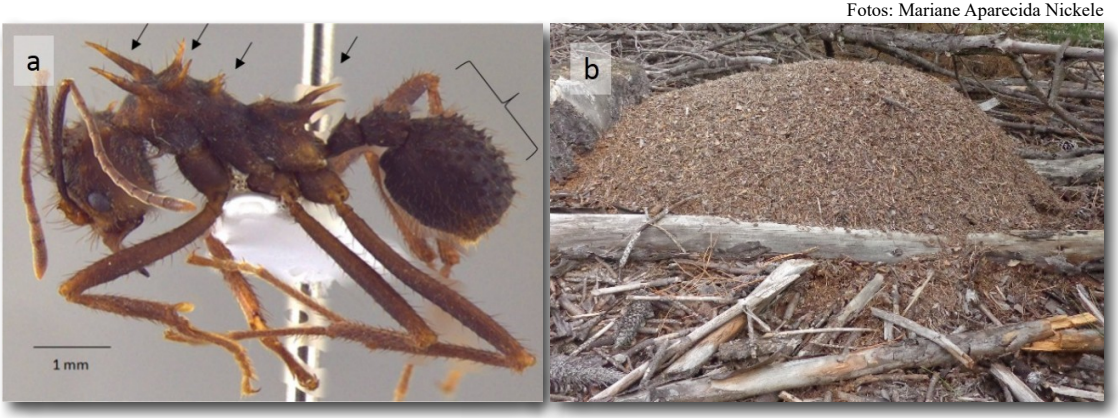


Figura 2. *Acromyrmex* (quenquém): a) operária; b) ninho.

Essas formigas cortam materiais vegetais frescos que servem de substrato para o cultivo do fungo do qual se alimentam. Devido ao hábito desfolhador, apresentam elevado poder destrutivo em áreas agrícolas e florestais (Della Lucia, 2011).

As formigas cortadeiras ocorrem apenas nas Américas, com distribuição desde o Sul dos Estados Unidos até o centro da Argentina. No Brasil ocorrem oito espécies de *Atta* e 28 espécies de *Acromyrmex* (Antwiki, 2019), distribuídas por todo o território nacional, mas com diferentes espécies para cada região. As espécies mais comumente encontradas nos plantios de eucalipto são as saúvas *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) e *A. sexdens* Linnaeus, 1758, e as quenquéns *Acromyrmex coronatus* Fabricius, 1804, *A. crassispinus* Forel, 1909, *A. lundii* Guérin-Méneville, 1838, *A. rugosus rugosus* F. Smith, 1858 e *A. subterraneus* Forel, 1893.

As saúvas podem causar danos em plantas de eucalipto durante todo o ciclo florestal. Estima-se que uma colônia adulta de *Atta* com mais de três anos de idade necessita de 1 tonelada de folhas de eucalipto por ano, o que equivale a 86 árvores de eucalipto (Mendes Filho, 1981). Além disso, as desfolhas provocadas pelas saúvas causam diminuição no crescimento das plantas e, consequentemente, da produtividade. Plantas de *Eucayptus grandis* (Maiden) Hill que sofrem desfolhamento de 100% logo após o plantio, podem perder de 18,9% a 20% do crescimento em diâmetro e de 12% a 13% em altura (Matrangolo et al., 2010; Reis Filho et al., 2011). Plantas de *E. urophyla* S.T. Blake podem perder 16% e 42% do volume de madeira, aos 4,6 anos de idade, ao sofrerem desfolhas de 75% e 100%, respectivamente (Zanúncio et al., 1999). As saúvas podem reduzir a produtividade de madeira entre 0,04 m^3 ha^{-1} e 0,13 m^3 ha^{-1}, para cada m^2 de área de terra solta de sauveiro, dependendo do sítio (Souza et al., 2011). O nível de dano econômico de saúvas pode variar entre 7,02 m^2 ha^{-1} e 34,86 m^2 ha^{-1} de terra solta em plantios comerciais, em áreas de Cerrado (Zanetti et al., 2003) e entre

13,4 m^2 ha^{-1} e 39,2 m^2 ha^{-1} de terra solta, em áreas de Mata Atlântica (Souza et al., 2011).

A importância das formigas cortadeiras levou as empresas florestais a formarem equipes exclusivas para o seu combate. Até o momento, o controle químico é o método mais eficiente e o mais utilizado para reduzir os danos de formigas em plantios florestais. Nenhum método alternativo está atualmente disponível no mercado ou não tem eficiência para o uso em grande escala (Britto et al., 2016).

Desde o ano de 2002, a Embrapa Florestas vem desenvolvendo pesquisas sobre o manejo de formigas cortadeiras em plantios florestais da Região Sul do Brasil. Nessa região há o predomínio de espécies de *Acromyrmex*, sendo que a quenquém-de-ciscos, *A. crassispinus*, é altamente relevante, chegando a alcançar mais de 80% de prevalência em relação às outras espécies, em alguns municípios (Nickele et al., 2009, 2018).

Em plantios de eucalipto localizados no Sul do Brasil há um aumento gradual na densidade de ninhos de *Acromyrmex*, até os 18 meses após o plantio (observado para *A. crassispinus* e *A. lundii)*. Aos 24 meses após o plantio, quando o dossel da floresta se fecha, a densidade de ninhos diminui drasticamente. Em relação ao ataque dessas formigas nas plantas de eucalipto, os maiores danos ocorrem na implantação da floresta (Nickele et al., 2018). Nessa fase, as plantas são muito vulneráveis ao ataque de formigas cortadeiras e as perdas por esses insetos podem ser irreversíveis, pela fragilidade das mudas (Della Lucia, 2011). Os ataques são intensos nos primeiros meses após o plantio, atingindo até 13,3% de mortalidade das mudas recém-plantadas. No entanto, a partir dos seis meses de idade do plantio, os ataques de quenquéns são insignificantes (Nickele et al., 2018)

Diante desses estudos, a Embrapa Florestas apresentou recomendações para o controle químico de formigas cortadeiras, em plantios de pinus e eucalipto (Reis Filho et al., 2015). O controle químico de formigas cortadeiras é realizado principalmente pelo uso de iscas formicidas granuladas, sendo o fipronil e a sulfluramida os princípios ativos mais utilizados. Em plantios de eucalipto com a ocorrência de saúvas, é recomendado o monitoramento e controle de formigas cortadeiras durante todo o ciclo florestal, tendo em vista a alta voracidade das saúvas em plantas de qualquer estágio de desenvolvimento. Já nos plantios de eucalipto que ocorrem apenas quenquéns, o controle de formigas pode ser realizado apenas até o plantio completar um ano de idade (Reis Filho et al., 2015), não sendo necessário realizar as manutenções durante todo o ciclo florestal, já que as quenquéns atacam o eucalipto apenas no início do plantio (Nickele et al., 2018).

Métodos alternativos de controle também estão sendo pesquisados pela Embrapa Florestas, tais como o controle biológico, o uso de extratos vegetais que atuem como inseticidas ou fungicidas, entre outros.

Grilos

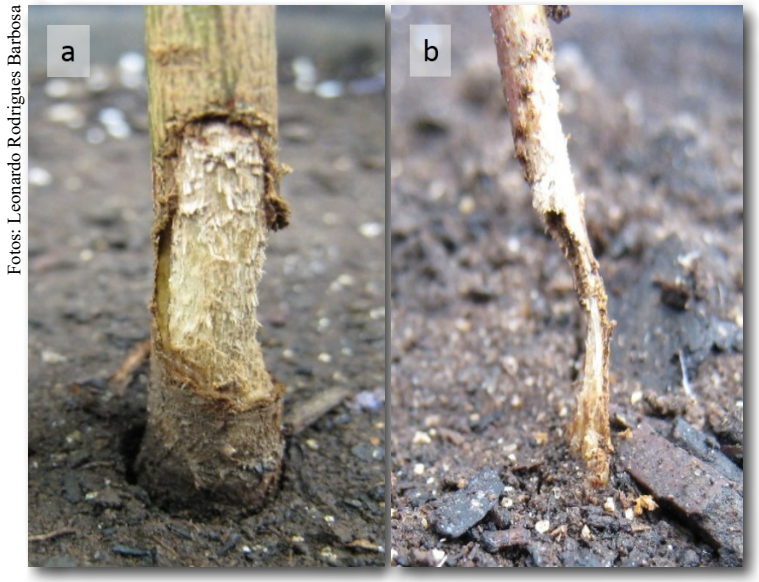
Os grilos pertencem ao gênero *Gryllus* (Orthoptera: Gryllidae). Trata-se de um grupo de insetos extremamente polífago, que se alimentam de uma grande diversidade de plantas e pequenos animais. São insetos de hábitos noturnos, encontrados normalmente na superfície do solo e durante o dia, mas ocultam-se sob detritos e galerias subterrâneas.

Para definir alguns aspectos da biologia de *Gryllus* sp. (Figura 3), foi realizado um estudo, em plantas de eucalipto, no Laboratório de Entomologia Florestal da Embrapa Florestas. Verificou-se que o ciclo de vida foi relativamente longo, com uma duração de aproximadamente 117 dias para machos e 106 dias para fêmeas. O número médio diário e total de ovos por fêmea foi 28 e 1008 ovos, respectivamente, confirmando que os grilos são altamente prolíferos (Barbosa et al., 2009).

Foto: Dalva Luiz de Queiroz

Figura 3. Adulto de *Gryllus* sp.

Ocasionalmente, espécies de *Gryllus* podem ocorrer em plantios de eucalipto, sobretudo até 40 dias após o plantio e em áreas onde se constata a redução de habitats naturais. Pesquisas com esse grilo são escassas. Barbosa et al. (2009) caracterizaram os danos de *Gryllus* sp. em plantas de *E. grandis*, em laboratório. O diâmetro e a idade das mudas afetaram a manifestação e intensidade dos danos às plantas. As mudas que sofreram mastigação superficial (Figura 4a) podem regenerar-se, enquanto que aquelas com sinais de mastigação profundos (Figura 4b) podem ter seu desenvolvimento comprometido pela má circulação da seiva. Essas mudas podem sofrer ainda tombamento, devido à perda de sustentação conferida pelo caule. Já as mudas que sofreram corte total do caule dificilmente irão se regenerar, devido à idade tenra da planta.



Fotos: Leonardo Rodrigues Barbosa

Figura 4. Dano causado por *Grillus* spp. a) dano superficial; b) dano profundo.

Contribuições para o manejo de pragas exóticas

Gorgulho-do-eucalipto

O gorgulho-do-eucalipto pertence ao gênero *Gonipterus* (Coleoptera, Curculionidae). São besouros de origem australiana, detectados no Brasil há várias décadas. Até 2012, considerava-se que as espécies de *Gonipterus* encontradas no Brasil eram *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal, 1833 e *Gonipterus gibberus* Boisduval, 1935. No entanto, um estudo revelou que as espécies que ocorrem no país são *Gonipterus platensis* e *Gonipterus pulverulentus,* respectivamente (Mapondera et al., 2012).

Gonipterus platensis é a espécie predominante e com maior importância no Brasil, tendo sido detectada pela primeira vez em Curitiba, Paraná, em 1979 (Freitas, 1979). Encontra-se distribuída por quase todas as regiões produtoras de eucalipto no mundo, como Nova Zelândia, África do Sul, Quênia, Lesoto, Madagascar, Malaui, Ilhas Mauricio, Moçambique, Suazilândia, Uganda, Zimbábue, Espanha, Portugal, França, Itália, Estados Unidos, Argentina, Uruguai, Chile e Brasil. No Brasil está presente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Espírito Santo, ocorrendo em *Eucalyptus dunnii*, *E. globulus*, *E. saligna* (var. *protrusa*), *E. viminalis,*

E. grandis, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e em clones de *E. urophylla*, *E. urophylla* (var. *platyphylla*), *E. grandis* e *E. saligna* (Wilcken; Oliveira, 2015, Souza et al., 2016b).

Os adultos de *G. platensis* apresentam coloração castanho escura, com revestimento escamoso, sendo que os machos medem de 5,7 mm a 8,9 mm e as fêmeas 7,5 mm a 9,4 mm (Figura 5). Apresentam o rostro curto e subcilíndrico, com as laterais pretas e o centro castanho-avermelhado. Os ovos são depositados em fileiras, recobertos por uma mistura de produto glandular com excremento, resultando em uma ooteca rígida de coloração preta, que contém de três a 16 ovos. As larvas são ápodas, convexas dorsalmente e planas ventralmente, com a cabeça de coloração escura retraída sobre o tórax, corpo de coloração amarelo-creme, com três faixas longitudinais verde-escuras e comprimento médio entre 9,2 mm a 11,3 mm. As pupas medem entre 7 mm a 11,3 mm e se desenvolvem no solo, protegidas por uma câmara pupal formada com o próprio solo (Rosado-Neto; Marques 1996; Sanches, 1993).

Fotos: Leonardo Rodrigues Barbosa

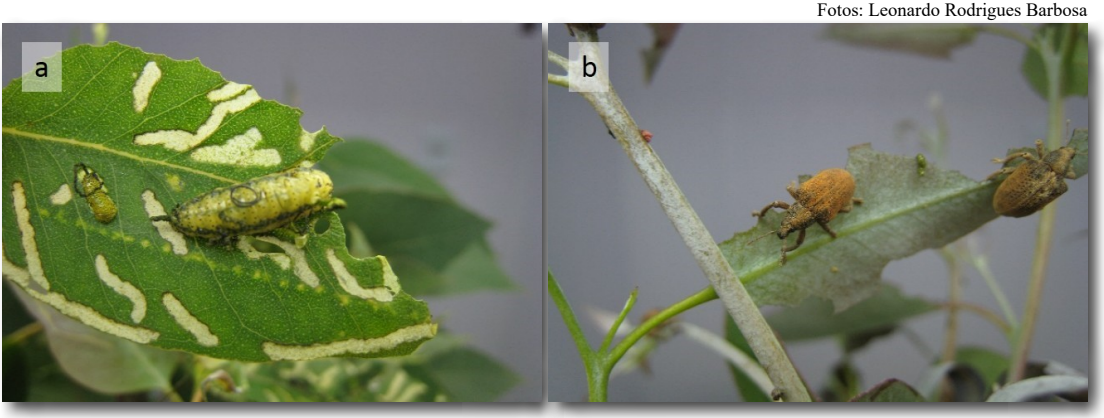


Figura 5. *Gonipterus platensis*. a) larvas e danos; b) adultos e danos.

Os ataques do gorgulho-do-eucalipto se caracterizam pelas desfolhas causadas devido à alimentação de larvas e adultos, principalmente no terço superior das plantas. As larvas causam o maior dano, uma vez que se alimentam exclusivamente das folhas mais jovens e de brotações no ápice da copa. As larvas recém-eclodidas raspam os tecidos mais tenros das folhas, deixando orifícios na forma de rastros por onde passam (Figura 5a). Esses rastros logo secam e escurecem, deixando a folha com aspecto encarquilhado. A partir do terceiro instar, as larvas passam a se alimentar indiscriminadamente das folhas, podendo causar a desfolha completa dos ponteiros das plantas, levando a perdas de crescimento e produtividade. Os adultos alimentam-se de folhas jovens a folhas de idade intermediária a partir das bordas, deixando-as com aspecto serreado (Figura 5b) (Sanches, 1993; Tooke, 1955).

O manejo do gorgulho-do-eucalipto é realizado com a utilização de agentes de controle biológico, destacando-se o parasitoide de ovos *Anaphes nitens* (Girault, 1928) (Hymenoptera: Mymaridae) e o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* (Balsamo). Em geral, a ocorrência do gorgulho-do-eucalipto sempre foi esporádica devido principalmente ao controle biológico realizado pelo parasitoide que hoje está presente em todos os locais de ocorrência da praga. No entanto, após um longo período sendo controlado naturalmente, esse inseto ressurgiu na região sul do estado de São Paulo, em dezembro de 2012, e vem se disseminando para sua região central e para o nordeste do Paraná. Nestes Estados, a taxa média de parasitismo por *A. nitens* tem variado entre 30% e 60%, sendo inferior à taxa de 90% que é verificada em outros Estados. Esta diferença na eficiência do parasitoide pode estar relacionada às condições climáticas (Souza et al., 2016b).

O Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef), por meio do seu Programa Cooperativo sobre Proteção Florestal (Protef), que conta com a participação da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus Botucatu, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Embrapa e empresas do setor florestal, tem coordenado as pesquisas que visam avaliar os impactos causados pelo gorgulho aos plantios de eucalipto, bem como analisado as questões relacionadas à ineficiência de *A. nitens* e à introdução de novos parasitoides para controle biológico.

Psilídeos

Psilídeos são insetos minúsculos sugadores de seiva que se assemelham a pequenas cigarras. Pertencem à Ordem Hemiptera, Superfamília Psylloidea. Os imaturos podem ser de vida livre ou desenvolver-se em galhas abertas ou fechadas, enquanto outros constroem coberturas cerosas chamadas conchas, sob as quais eles se desenvolvem.

Possuem aparelho bucal sugador que inserem no tecido vascular, sugando a seiva do floema e obtendo nutrientes necessários ao seu desenvolvimento. Com sua alimentação, enfraquecem a planta hospedeira, deformam as folhas e brotos novos, retardando o crescimento e diminuindo a produtividade, principalmente em viveiros. Atacam principalmente plantas jovens e, em menor grau, adultas, concentrando-se nos ponteiros. O dano mais significativo é a senescência e a queda prematura das folhas. Também podem causar encarquilhamento das folhas e morte das ponteiras. Isso pode contribuir para a perda geral de vigor das plantas atacadas. Além dos danos pela alimentação, os psilídeos também podem causar danos indiretos às plantas, particularmente quando as populações são numerosas, secretando uma substância açucarada que favorece o crescimento de fungos e que cobrem as folhas do hospedeiro, dificultando a fotossíntese.

Os trabalhos com psilídeos associados à cultura do eucalipto foram iniciados na Embrapa Florestas, na década de 1990, por ocasião da detecção de *Ctenarytaina* sp. no município de Arapoti, PR, em plantações de *Eucalyptus grandis* (lede et al., 1997) e a confirmação da espécie *Ctenarytaina spatullata*, em 1999 (Burckhardt et al., 1999) (Figura 6). Outros três psilídeos que atacam eucaliptos foram introduzidos no Brasil, sendo eles: *Blastopsylla occidentalis*, em 1997 (Figura 7), *Ctenarytaina eucalypti*, em 1998 (Figura 8) e *Glycaspis brimblecombei*, em 2003 (Burckhardt et al., 1999; Queiroz et al., 1999; Wilcken et al., 2003) (Figura 9).

Fotos: Dalva Luiz de Queiroz

Figura 6. *Ctenarytaina spatulata:* a) adulto; b) danos.

Fotos: Dalva Luiz de Queiroz

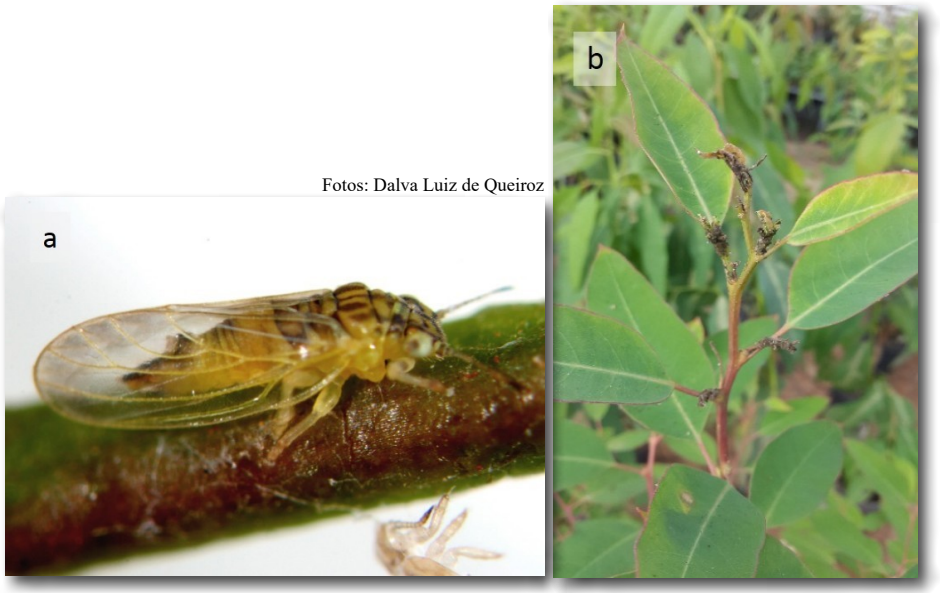


Figura 7. *Blastopsylla occidentalis*: a) adulto; b) infestação na planta.

Fotos: Dalva Luiz de Queiroz

Figura 8. *Ctenarytaina eucalypti*: a) adulto; b) infestação.

Foto: Dalva Luiz de Queiroz Foto: Leonardo Rodrigues Barbosa

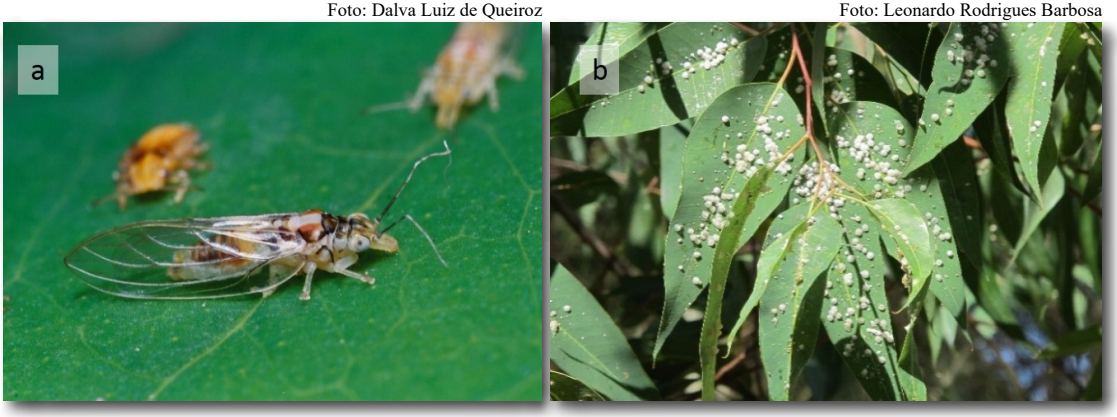


Figura 9. *Glycaspis brimblecombei*: a) adulto; b) infestação das ninfas (conchas).

No Brasil, *B. occidentalis* foi relatada pela primeira vez em Goiás (Burckhardt et al., 1999) e posteriormente no Espírito Santo (Resende; Santana, 2008), Minas Gerais, Mato Grosso (Santana, 2008), Mato Grosso do Sul (Burckhardt; Queiroz, 2012), Paraná e São Paulo (Santana, 2008). Recentemente, foi encontrada também nos estados da Bahia, Ceará, Piauí e Rio Grande do Sul (Queiroz et al., 2018).

Informações sobre distribuição, hospedeiros, biologia e controle das quatro espécies de psilídeos de eucalipto introduzidas no Brasil foram compiladas por Queiroz e Burckhardt (2007) e por Burckhardt e Queiroz (2012).

A Embrapa Florestas realizou coletas das quatro espécies de psilídeos do eucalipto nas áreas infestadas, visando identificar os organismos que poderiam atuar de maneira antagônica ao crescimento populacional das pragas. Diversos inimigos naturais foram encontrados, tais como fungos entomopatogênicos, parasitoides e predadores (aracnideos, Coccinellidae, Chrysopidae, Syrphidae).

No Brasil, os parasitoides de *C. eucalypti* (*Psyllaephagus pilosus*) e de *G. brimblecombei* (*Psyllaephagus bliteus*) foram introduzidos acidentalmente junto com seus hospedeiros (Burckhardt et al., 1999; Santana, 2002; Berti Filho et al., 2003). *Psyllaephagus bliteus* foi detectado no Brasil em novembro de 2003 (Santana et al., 2003) (Figura 10a). Esses parasitoides se adaptaram e dispersaram em todo o território brasileiro. Eles podem ser encontrados em praticamente todas as áreas onde a praga está presente. *Psyllaephagus pilosus* proporciona um controle eficiente de *C. eucalypti* e hoje este inseto raramente é encontrado causando danos. Em determinadas áreas e época do ano, as populações de *P. bliteus* podem ser numerosas e proporcionar um bom controle de *G. brimblecombei.* No Mato Grosso do Sul, Vieira et al. (2018) verificaram taxas de parasitismo de *P. bliteus* sobre *G. brimblecombei* variando de 0% a 60%, influenciada principalmente pelas condições climáticas.

Fotos: Dalva Luiz de Queiroz

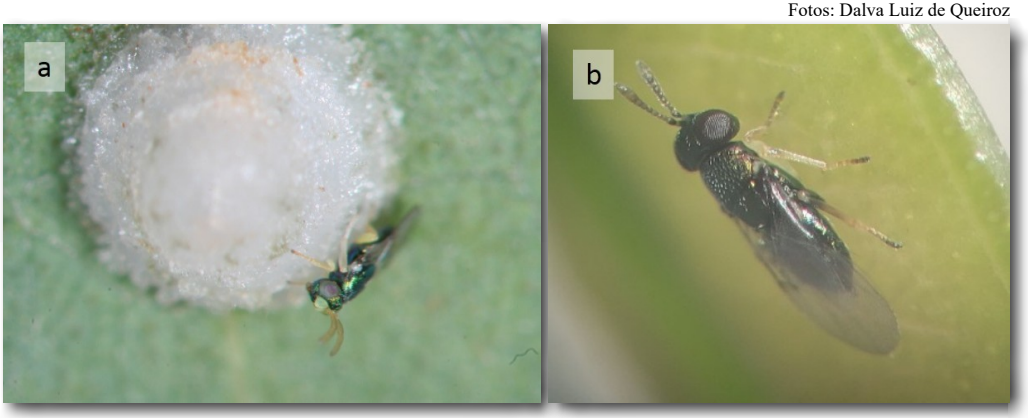


Figura 10. Parasitóides: a) *Psyllaephagus bliteus* parasitoide de *Glycaspis brimblecombei;* b) *Psyllaephagus blastopsyllae* parasitoide de *Blastopsylla occidentalis*.

Estudos relacionados ao ataque dos psilídeos e sua interação com a seca dos ponteiros do eucalipto foram desenvolvidos, em casa de vegetação pela Embrapa Florestas (Santana et al., 1999, 2003; Queiroz et al., 2003), onde os danos causados por *C. spatulata* foram supostamente relacionados aos efeitos da deficiência de alguns minerais. Os danos de *C. spatulata,* quando relacionados à deficiência de minerais, podem ser mais serveros e prejudicar o crescimento e a produção de biomassa do eucalipto, além de afetar o desenvolvimento da raiz. Para *C. spatulata* também foram realizados vários estudos sobre a biologia, os danos, a morfologia e a dinâmica populacional (Queiroz et al., 2005, 2009).

A Embrapa Florestas atuou em projetos de gerenciamento e simulação de riscos de pragas gerais para a cultura do eucalipto (Bonetti Filho et al., 2010), sua distribuição (Queiroz et al., 2018), modelagem e predição de dispersão (Queiroz et al., 2010) frente aos cenários atuais e de mudanças climáticas globais (Queiroz et al., 2013), apresentando como resultados a distribuição global potencial de *G. brimblecombei*. Para esta espécie Queiroz et al. (2013) utilizaram modelagem ecológica para estimar o potencial de dispersão e as regiões com maior probabilidade de ocorrência no Brasil, sendo elas, a parte sul da Mata Atlântica, Pampa, Caatinga e Cerrado. A modelagem é uma ferramenta útil para planejar estratégias dentro do manejo de pragas em plantios de eucalipto.

Na busca por medidas de controle de pragas ecologicamente sustentáveis, a Embrapa Florestas investiu em pesquisas sobre a interação entre os fatores nutricionais tais como o Mg (Santana et al., 1999) e N, K (Queiroz et al., 2003), deficiência hídrica e o ataque de psilídeos. Como resultados, os autores associaram a ocorrência de dieback em eucaliptos com o estresse, pela alternância de períodos muitos secos, seguidos por períodos muito chuvosos e a presença do psilídeo das ponteiras, *C.*

spatulata. Em outro experimento, avaliando o efeito da aplicação de silício em *E. camaldulensis*, na população de *G. brimblecombei,* Queiroz et al. (2016) verificaram uma redução na população do psilídeo, nos tratamentos com aplicação de silício, tanto via foliar, como via solo.

A resistência do eucalipto ao ataque de *G. brimblecombei* foi outro estudo desenvolvido pela Embrapa Florestas, com a avaliação da resistência de clones comerciais de *E. camaldulensis* e *E. urophylla* ao ataque de *G. brimblecombei*, no campo. Neste estudo foi verificado que todos os clones de *E. camaldulensis* foram susceptíveis ao psilídeo-de-concha e todos os clones de *E. urophylla* foram resistentes a *G. brimblecombei* (Camargo et al., 2014). Dando prosseguimento a estes estudos, Siqueira et al. (2016), em avaliação termoanalítica de óleos essenciais das folhas de *E. pellita* (resistente) e *E. camaldulensis* (suscetível) a *G. brimblecombei*, *mostraram* que o óleo essencial de eucalipto apresenta diferentes composições químicas e o maior constituinte 1,8-cineole pode ser a razão da resistência e suscetibilidade ao ataque do psilídeo.

Pesquisas para o controle biológico clássico do psilídeo das ponteiras do eucalipto, *B. occidentalis*, pelo parasitoide exótico, *Psyllaephagus blastopsyllae* sp. n. (Hymenoptera: Encyrtidae) (Figura 10b) foram realizadas pela Embrapa Florestas, em 2015. O parasitoide foi introduzido da África do Sul e, para a manutenção dos parasitoides, foi estabelecida a criação da praga em casa de vegetação, sendo que coletas regulares da praga foram realizadas no campo, em Minas Gerais, para manter o vigor dessa criação. Em uma das coletas foram observadas ninfas do inseto parasitadas, das quais emergiram parasitoides adultos. O material foi avaliado pelos taxonomistas Valmir Costa (Instituto Biológico, SP) e John Noyes (Museu de Londres, Inglaterra), que confirmaram tratar-se de *Psyllaephagus blastopsyllae* sp. n. O parasitoide foi encontrado no campo, antes da chegada da primeira remessa ao Brasil. Assim, o processo de importação foi suspenso e o projeto foi redirecionado para o acompanhamento do parasitoide no campo. Hoje, o parasitoide está sendo monitorado no campo, em Minas Gerais, onde sua população permanece durante todo ano, mas em níveis ainda baixos.

Ácaros

Os ácaros são artrópodes da classe Arachnida, sub-classe Acari, que habitam quase todos os ambientes terrestres e aquáticos. Podem ser de vida livre ou parasitas, alimentando-se de animais, vegetais, fungos, musgos, produtos armazenados, restos animais e vegetais, excrementos e até mesmo de outros ácaros.

Em plantios de eucalipto no Brasil, são citados os ácaros fitófagos da família Tetranychidae: *Oligonychus* sp. (Flechtmann; Baker, 1970; Faria et al., 2005), *Oligonychus punicae* (Flechtmann; Baker, 1970), *Oligonychus ilicis, Tetranychus*

urticae (Flechtmann, 1983) e *Oligonychus yothersi* (Pereira, Anjos; Almado, 2005). Na família Eriophyidae, é citado o micro ácaro *Rhombacus eucalypti* (Flechtmann; Santana, 2001) (Figura 11), que ataca somente plantas do gênero *Eucalyptus*. Este ácaro foi observado em 2001 causando necrose e bronzeamento em folhas novas de algumas espécies de eucalipto (Flechtmann; Santana, 2001).

Foto: Dalva Luiz de Queiroz

Figura 11. Exemplar de *Rhombacus eucalypti*.

Rhombacus eucalypti apresenta hábito de vida livre (ambulante), sendo observado em ambos os lados das folhas, mas principalmente nos pecíolos e na superfície inferior das folhas. Em *E. camaldulensis* e *E. tereticornis* foram observados deformação, encarquilhamento e queda de folhas, com visível redução da área foliar. Em *E. grandis* e híbridos de *E. urophylla* x E. *grandis* foi observada alta infestação de *R. eucalypti*, porém sem danos visíveis (Flechtmann; Santana, 2001). Em Colombo, PR, foram identificadas plantas de eucalipto com sinais de ataque deste ácaro, em casa de vegetação. A infestação do ácaro foi avaliada em diferentes clones de *E. camaldulensis* e *E. urophylla*, quantificando-se o número de ácaros por ponteira e sinais de danos. Os maiores valores para frequência média de indivíduos foram em dois clones de *E. urophylla,* considerados altamente suscetíveis, apresentando numerosas populações deste ácaro e sintomas de danos (Kunast et al., 2016).

Microvespa-do-eucalipto-citriodora

A microvespa-do-eucalipto-citriodora, *Epichrysocharis burwelli* (Schauff; Garrison) (Hymenoptera: Eulophidae), foi constatada no Brasil em março de 2003, no município de São João do Paraíso, Minas Gerais, atacando plantações de *Corymbia citriodora* (anteriormente denominado *Eucalyptus citriodora*), destinadas à produção de óleos essenciais. Entretanto, o inseto já foi encontrado também em vários outros municípios

de todas as regiões do referido Estado, como também nos estados do Espírito Santo (Marataizes, Itapemerim, Anchieta e Cachoeiro do Itapemerim), Rio de Janeiro (Itaperuna, Bom Jesus do Itabapona e Seropédica), São Paulo (Piracicaba), Rio Grande do Sul (Cachoeira do Sul), Paraná (Colombo) e Mato Grosso do Sul (Ponta Porã) (Santana; Anjos, 2007).

A única planta hospedeira detectada até o momento é *C. citriodora*. Este inseto é oriundo da Austrália, mas já tinha sido constatado nos Estados Unidos, desde 1999 e, na Califórnia, está sendo considerada como uma das mais nocivas espécies daninhas já introduzidas naquele país.

Apesar de serem muito pequenas (cerca de 0,5 mm de comprimento), as micro-vespas podem ser observadas a olho nú sobre as folhas novas de ramos laterais, onde desenvolvem intensa atividade de postura nas horas mais quentes do dia. Apresentam coloração geral marrom-escura ou preta, com a cabeça mais clara, tendendo para marrom-amarelada e com antenas amarelo-palha (Figura 12a).

Os danos são caracterizados inicialmente por pequenas galhas globosas, com menos de um milímetro, coloração inicialmente verde, mudando para cinza-claro e depois marrom, após a emergência dos adultos (Figura 12b). Os orifícios de emergência dos insetos funcionam como porta para a entrada de patógenos que fazem aumentar a necrose do limbo foliar, provocando a deiscência precoce das folhas; as árvores assumem um aspecto sapecado e com copas ralas. Nos locais onde ficam os cecídios necrosados, as vesículas de óleo desaparecem completamente e isto significa que a

Fotos: Dalva Luiz de Queiroz

Figura 12. *Epichrysocharis burwelii*: a) adulto e galhas com orifício de emergência; b) injúrias nas folhas de *Corymbia citriodora*.

produção da essência oleosa pode ficar seriamente comprometida. Informações da indústria dão conta de que a perda na produção de óleo pode variar de 30% a 80% nas folhas provenientes de plantações atacadas.

Estudos sobre a morfologia, comportamento e viabilidade das fases biológicas estão em andamento na UFV (Viçosa, MG) e na Embrapa Florestas, com vistas a avaliar suas potencialidades de prejuízos na indústria de óleos essenciais, bem como identificar inimigos naturais e desenvolver uma adequada tecnologia de manejo integrado para esta praga.

Até o momento, nenhum inimigo natural foi constatado e isto pode ser a explicação de como a sua dispersão foi tão rápida no País. Não existe nenhuma técnica de combate conhecida para o inseto nas condições de grandes plantações de eucalipto, mas, nos Estados Unidos, a indústria de arranjos florais já pratica o combate químico localizado para conseguir produzir folhas limpas.

Vespa-de-galha-do-eucalipto

A vespa-de-galha-do-eucalipto, *Leptocybe invasa* (Figura 13a) é um inseto-praga que tem danificado espécies de eucalipto em vários países, na Ásia, África, Europa e Américas (Wilcken et al., 2015). No Brasil, o primeiro registro foi nos estados da Bahia e São Paulo, em 2008 (Costa et al., 2008). Posteriormente, foi registrada nos estados do Rio Grande do Sul (Garlet et al., 2013), Paraná (Rinaldi et al., 2013), Minas Gerais (Fernandes et al., 2014), Goiás (Pereira et al., 2014), Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Pernambuco, Sergipe, Tocantins (Wilcken et al., 2015) e Santa Catarina (Barbosa et al., 2018a). Os danos desta praga consistem na redução de crescimento de mudas e árvores e eventualmente morte de mudas (Wilcken et al., 2015). Estes danos são devidos às galhas que surgem após a oviposição, induzindo alterações estruturais e químicas nos tecidos da planta (Isaias et

Fotos: Dalva Luiz de Queiroz

Figura 13. *Leptocybe invasa*: a) adulto; b) dano (galhas).

al., 2018) (Figura 13b). Esses danos podem reduzir a produtividade, especialmente de genótipos suscetíveis (Costa et al., 2008).

Os métodos de controle utilizados para o manejo da vespa-de-galha incluem controle cultural, químico, melhoramento genético, seleção de plantas resistentes (Wilcken et al., 2015) e controle biológico (Masson et al., 2017). O controle químico com inseticidas registrados tem sido utilizado, sobretudo, para controle da praga em viveiros florestais. Entretanto, este método não é amplamente aceito pelos impactos causados e pela regulação da certificação florestal. O controle cultural como componente do manejo da vespa-de-galha envolve corte de ponteiros das minicepas no minijardim clonal, descarte de mudas com sinais de galhas na produção de mudas e poda de ponteiros e ramos de plantas atacadas no campo. Os restos vegetais com presença da praga são queimados ou enterrados. O uso do controle cultural não tem sido eficiente em condição de surto populacional da praga (Wilcken et al., 2015). O controle biológico e o desenvolvimento de clones resistentes são as duas principais estratégias utilizadas para minimizar o efeito adverso de *L. invasa* e limitar as populações da vespa em plantios de eucalipto no Brasil. O parasitoide *Megastigmus brasiliensis Doğanlar*, Zache & Wilcken, 2013 foi registrado no Brasil em larvas de *L. invasa*, mas seu potencial para o controle da praga ainda é desconhecido (Doğanlar et al., 2013).

O Programa Cooperativo de Proteção Florestal do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, com a participação da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Campus Botucatu) e a Embrapa Florestas, introduziram em 2015, da África do Sul, o parasitoide *Selitrichodes neseri* Kelly & La Salle, 2012 (Hymenoptera: Eulophidae), para controle da vespa-de-galha. A propagação e o estabelecimento deste parasitoide nas plantações de eucalipto já foi registrada no Brasil (Masson et al., 2017). Fatores genéticos e ambientais são reportados como causas da variação de suscetibilidade de espécies e híbridos de eucalipto à vespa-de-galha, e, portanto, devem ser considerados ao selecionar materiais genéticos para os plantios.

Percevejo bronzeado

O percevejo bronzeado, *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera, Thaumastocoridae), nativo da Austrália, é um importante inseto-praga que causa danos às árvores de eucalipto em diversos países. Trata-se de um inseto sugador, que se alimenta de folhas maduras de várias espécies e clones de *Eucalyptus* causando alteração na coloração da copa das árvores (bronzeamento), desfolha parcial ou total e, em certos casos, a morte de árvores (Figuras 14a e 14b).

As pesquisas com este inseto iniciaram no Brasil em 2008, por ocasião da sua detecção nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo (Wilcken et al., 2010) e no Paraná em 2009 (Barbosa et al., 2010).

Fotos: Leonardo Rodrigues Barbosa

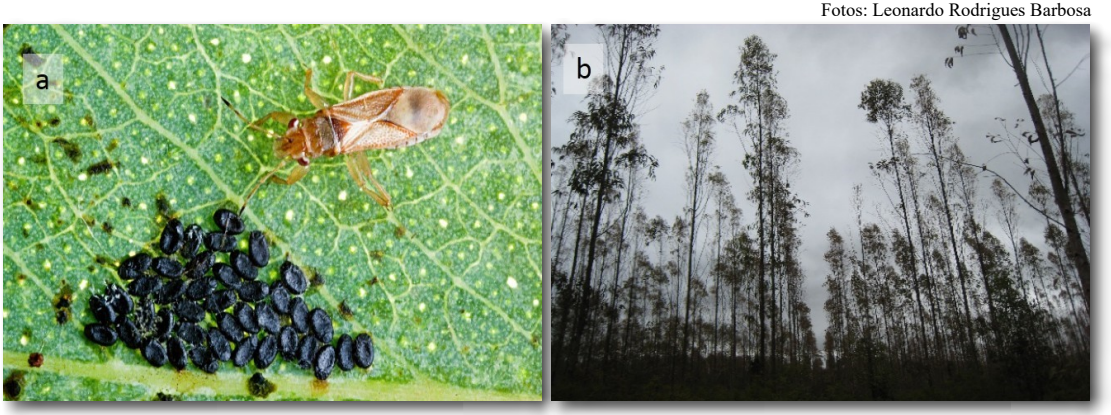


Figura 14. *Thaumastocoris peregrinus*: a) ovos e adulto; b) danos.

O manejo de *T. peregrinus* em plantios de eucalipto inclui os controles químico e biológico (Machado et al., 2016; Lorencetti et al., 2018; Soliman et al., 2019). Entretanto, o controle biológico clássico tem sido a principal estratégia adotada (Barbosa et al., 2017b, 2018b).

O programa de controle biológico do percevejo bronzeado iniciou na Embrapa Florestas, num primeiro momento com pesquisas relacionadas à metodologia de criação massal (Barbosa et al., 2016) e bioecologia (Barbosa et al., 2019) da praga. Na segunda etapa, as pesquisas foram realizadas com o principal agente de controle biológico, o parasitoide de ovos *Cleruchoides noackae* Lin & Huber, 2007 (Hymenoptera: Mymaridae). Esse parasitoide foi introduzido no Brasil em 2012, por meio de um projeto cooperativo coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef), com a participação da Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus Botucatu, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Embrapa e empresas do setor florestal. A Embrapa Florestas tem se destacado nas pesquisas com *C. noackae*, atuando no desenvolvimento de uma estratégia eficiente para a sua criação massal (Barbosa et al., 2017a), estratégias para armazenamento a frio (Barbosa et al., 2018b), estudos dos efeitos de dietas (Souza et al., 2016a) e temperaturas. Neste programa a Embrapa Florestas coordenou liberações do parasitóide em mais de dez empresas florestais localizadas nos estados de MG, RS, SP, PR, GO, MS e MA. O estabelecimento de *C. noackae* já foi confirmado em SP, RS e MG, com taxas de parasitismo próximas a 50% (Barbosa et al., 2017b). A partir destas liberações e posterior estabelecimento do parasitoide, o programa conseguiu contribuir para uma redução das infestações e consequentes danos causados pela praga.

É perceptível o bom desempenho do inimigo natural que tem contribuído para a redução da área atacada pelo percevejo bronzeado, nas regiões onde o parasitoide está

estabelecido. Aliado a isto, o Brasil foi o pioneiro no desenvolvimento do programa de controle biológico para esta praga que, atualmente, serve como modelo de sucesso para outros países.

Considerações finais

A Embrapa Florestas, juntamente com seus parceiros, tem gerado soluções tecnológicas, visando restringir a dispersão, monitorar e controlar as principais pragas do eucalipto, disponibilizando informações sobre os mais diversos aspectos da biologia, morfologia, ecologia, dispersão, monitoramento, manejo e controle das pragas.

Entre as principais soluções tecnológicas pode-se citar: a elaboração de análise de risco de pragas; o registro de espécies de insetos exóticos introduzidos em plantios de eucalipto no Brasil; o mapeamento e predição da distribuição das espécies de pragas e planejamento de controle; as recomendações para o monitoramento eficiente, com detecção precoce dos surtos; as recomendações para redução de uso de produtos químicos para o controle de pragas; o uso de técnicas alternativas para manejo de pragas (ex. o uso de espécies de eucalipto resistentes; a aplicação de silício, para melhoria de resistências das plantas; introdução, criação massal e liberação de agentes para o controle biológico); a coleta, identificação e descrição de espécies novas; o treinamento de estudantes, estagiários, pesquisadores e fiscais da vigilância fitossanitária aos procedimentos de coleta, transporte, armazenamento, montagem e identificação de espécies de pragas exóticas e nativas; além da produção e disponibilização de vários comunicados técnicos, vídeos e publicações científicas.

Algumas destas tecnologias possuem abrangência mundial, com menor impacto do uso de produtos químicos e, consequentemente, menor dano ao meio ambiente; melhor eficiência no monitoramento e maior eficiência e sustentabilidade do controle das espécies pragas.

Do ponto de vista futuro, várias tecnologias estão ainda em fase de desenvolvimento, mas com resultados promissores. No entanto, o problema de pragas é muito dinâmico e pode mudar rapidamente, dependendo de fatores ambientais e mercadológicos que geram variações nas dimensões e localização das áreas plantadas, nos materiais genéticos utilizados para os diferentes fins, no tipo de manejo da cultura etc. Desta forma, o monitoramento das áreas florestais deve ser constante, visando identificar os problemas com antecedência, melhorando a gestão dos riscos de pragas e planejamento das táticas de controle. O desenvolvimento de estudos visando à definição de métodos alternativos de controle, tais como o controle biológico, a resistência de plantas e outros estão permanentemente na agenda de pesquisas da Embrapa Florestas.

Referências

ANTWIKI. **Brazil**. Disponível em: http://www.antwiki.org/wiki/Brazil. Acesso em: 29 abr. 2019.

BARBOSA, L. R.; IEDE, E. T.; SANTOS, F. Caracterização de danos de *Gryllus* sp. em plantas de eucalipto, em laboratório. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 59, p. 63-68, 2009.

BARBOSA, L. R.; QUEIROZ, D. L.; REIS FILHO, W. Pragas de importância econômica. In: SANTOS, P. E. T. dos (Ed.). **Sistemas de produção**: cultivo do eucalipto. 4. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br. Acesso em: 29 abr. 2019.

BARBOSA, L. R.; RODRIGUES, A. P.; NICHELE, L. A.; SOUZA, A. R. de; BECCHI, L. K.; WILCKEN, C. F. **Orientações para a criação massal e liberação em campo de *Cleruchoides noackae* para controle biológico do percevejo bronzeado do eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017a. 26 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1081194.

BARBOSA, L. R.; RODRIGUES, A. P.; SOLER, L. S.; FERNANDES, B. V.; CASTRO, B. M. C.; WILCKEN C. F.; ZANUNCIO, J. C. Establishment in the field of *Cleruchoides noackae* (Hymenoptera: Mymaridae), an exotic egg parasitoid of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae). **Florida Entomologist**, v. 100, p. 372-374, 2017b.

BARBOSA, L. R.; RODRIGUES, A. P.; SOUZA, A. R. D.; PURETZ, B. D. O.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C. *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) on eucalyptus seedlings in Santa Catarina State, Brazil. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1770-1775, 2018a. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509835336.

BARBOSA, L. R.; RODRIGUES, A. P.; SOUZA, L. N.; FOERSTER, L. A.; SOUZA, A. R.; CASTRO, B. M. C.; WILCKEN C. F.; ZANUNCIO, J. C. Development of Cleruchoides noackae, an egg parasitoid of *Thaumastocoris peregrinus*, in eggs laid on different substrates, with different ages and post-cold storage. **BioControl**, v. 63, p. 193-202, 2018b. DOI: https://doi.org/10.1007/s10526-017-9863-3.

BARBOSA, L. R.; SANTOS, F.; BUHRER, C. B.; NICHELE, L. A.; WILCKEN, C. F.; SOLIMAN, E. P. **Criação massal do percevejo bronzeado, *Thaumastocoris peregrinus* Carpinteiro & Dellapé, 2006 (Hemiptera, Thaumastocoridae)**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 22 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1049862.

BARBOSA, L. R.; SANTOS, F.; SOLIMAN, E. P.; RODRIGUES, A. P.; WILCKEN, C. F.; CAMPOS, J. M.; ZANUNCIO, A. J. V.; ZANUNCIO, J. C. Biological parameters, life table and thermal requirements of *Thaumastocoris peregrinus* (Heteroptera: Thaumastocoridae) at diferent temperatures. **Scientific Reports**, v. 9, p.10174, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-45663-5.

BARBOSA, L. R.; SANTOS, F.; WILCKEN, C. F.; SOLIMAN, E. P. Registro de *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera, Thaumastocoridae) no Estado do Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, p. 75-77, 2010.

BERTI FILHO, E.; COSTA, V. A.; ZUPARKO, R. L.; LASALLE, J. Ocorrência de *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae) no Brasil. **Revista de Agricultura**, v. 78, p. 304, 2003.

BONETTI FILHO, R. Z.; QUEIROZ, D. L.; QUEIROZ, E. C. de; GARRASTAZU, M.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J. I.; FERNANDES, B. V. Modelos de distribuição e gestão de risco de insetos-praga de eucalipto no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23., 2010, Natal. **Anais**... Natal: Sociedade Brasileira de Entomologia: Emparn, 2010. CD-ROM.

BRASIL. Instrução Normativa nº 39, de 1 de outubro de 2018. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 190, p. 11-14, 2 de out. 2018.

BRITTO, J. S.; FORTI, L. C.; OLIVEIRA, M. A.; ZANETTI, R.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J.; LOECK, A. E.; CALDATO, N.; NAGAMOTO, N. S.; LEMES, P. G.; CAMARGO, R. S. Use of alternatives to PFOS, its salts and PFOSF for the control of leaf-cutting ants *Atta* and *Acromyrmex*. **International Journal of Research in Environmental Studies**, v. 3, p. 11-92, 2016.

BURCKHARDT, D.; QUEIROZ D. L. Commented checklist of the jumping plant-lice (Hemiptera: Psylloidea) from Brazil. **Zootaxa***, v.* 3571, p. 26-48, 2012.

BURCKHARDT, D.; SANTANA, D. L. Q.; TERRA, A. L.; ANDRADE, F. M.; PENTEADO, S. R. C.; IEDE, E. T.; MOREY,C. S. Psyllid pests (Hemiptera, Psylloidea) in South American eucalypt plantations. **Bulletin de la Société Entomologique Suisse**, v. 72, p. 1-10, 1999.

CAMARGO, J. M. M.; ZANOL, K. M. R.; QUEIROZ, D. L.; DEDECECK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; MELIDO, R. C. N. Resistência de clones de *Eucalyptus* ao psilídeo-de-concha. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 91-97, 2014. DOI: https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.77.504.

COSTA, W. O. D.; BERTI FILHO, E.; WILCKEN, C. F.; STAPE, J. L.; LASALLE, J.; TEIXEIRA, L. D. D. Eucalyptus gall-wasp *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Eulophidae, Hymenoptera), in Brasil: new forest pest reaches the new word. **Revista de Agricultura**, v. 83, p. 136, 2008.

COSAVE. Comitê de Sanidade Florestal do Cone Sul. **Lista de pragas quarentenárias para a região do COSAVE**. Brasília, DF, 1997.

DELLA LUCIA, T. M. C. **Formigas cortadeiras**: da bioecologia ao manejo. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2011. 419 p.

DOĞANLAR, M.; ZACHÉ, B.; WILCKEN, C. F. New species of *Megastigmus* (Hymenoptera: Torymidae: Megastigminae) from Brazil. **Florida Entomologist**, v. 96, p. 196-199, 2013.

FAO. Secretariat of the International Plant Protection Convention. **International standards for phytosanitary measures**: guidelines for regulating wood packing material in the international trade. Rome, 2002. 14 p. (Publication, n. 15).

FARIA, F. D.; SANTANA, D. L. de Q.; WINK, C.; FAVARO, R. M. Ciclo de vida do ácaro *Oligonychus* sp. em *Eucalyptus camaldulensis*. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 4., 2005, Colombo. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. CD-ROM (Embrapa Florestas. Documentos, 117).

FLECHTMANN, C. H. W.; BAKER, E. W. A preliminary report on the Tetranychidae (Acarina) of Brazil. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 63, p. 156-63, 1970.

FLECHTMANN, C. H. W.; SANTANA, D. L. Q. First record on an eriophyid mite from *Eucalyptus* in Brazil, with a complementary description of *Rhombacus eucalypti* Ghosh and Chakrabarti (Acari: Eriophyidae). **International Journal of Acarology**, v. 27, p. 123-127, 2001. DOI: https://doi.org/10.1080/01647950108684240.

FERNANDES, B. V.; BARCELOS, J. A. V.; ANDRADE, H. B.; ZANUNCIO, J. C. *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae), an exotic pest of *Eucalyptus*, in Minas Gerais State, Brazil. **Florida Entomologist**, v. 97, p. 824-826, 2014. DOI: https://doi.org/10.1653/024.097.0270.

FREITAS, S. **Contribuição ao estudo da morfologia e biologia de *Gonipterus gibberus* (Boisduval, 1835) (Coleoptera, Curculionidae) e levantamento dos danos causados por esta espécie em eucaliptos dos arredores de Curitiba**. 1979. 95 f. Tese (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GARLET, J.; COSTA, E. C.; BOSCARDIN, J.; DEPONTI, G.; SHWENGBER, C. R.; MACHADO, L. M. *Leptocybe invasa* em *Eucalyptus* sp. no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 43, p. 2175-2177, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013001200009.

IEDE, E. T. **Importância das pragas quarentenárias florestais no comércio internacional**: estratégias e alternativas para o Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. (Embrapa Florestas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 22). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/306464.

IEDE, E. T.; LEITE, M. S. P.; PENTEADO, S. R. C.; MAIA, F. *Ctenarytaina* sp. (Homoptera: Psilidae) associada a plantios de *Eucalyptus* sp. em Arapoti, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE FITOSSANITARISTAS, 7., 1997, Salvador. **Resumos** [...]. Salvador: Sociedade Entomológica do Brasil; Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF, 1997. p. 253.

IEDE, E. T.; PENTEADO, S. R. C. Detecção e controle de pragas quarentenárias: *Sirex noctilio* no Brasil. In: SILVOTECNA, 9., Concepción. **Proceedings** [...]. Concepción: Corporación Chilena de la Madera, 2000.

IEDE, E. T.; REIS FILHO, W.; PENTEADO, S. do R. C. Pragas quarentenárias florestais. In: ENCONTRO DE FITOSSANITARISTAS, 2000, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2000.

ISAIAS, R. M. S.; FERREIRA, B. G.; ALVARENGA, D. R.; BARBOSA, L. R.; SALMINEN, J. P.; STEINBAUER, M. J. Functional compartmentalisation of nutrients and phenolics in the tissues of galls induced by *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae). **Austral Entomology**, v. 57, p. 238-246, 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/aen.12336.

KUNAST, T. B. S.; WREGE, M. S.; QUEIROZ, D. L. Avaliação de danos causados pelo ácaro *Rhombacus eucalypti* em *Eucalyptus* spp. em casa de vegetação. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 15., 2016, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. p. 43-44.

LORENCETTI, G. A. T.; POTRICH, M.; MAZARO, S. M.; LOZANO, E. R.; BARBOSA, L. R.; MENEZES, M. J. S.; GONÇALVES, T. E. Eficiência de *Beauveria bassiana* Vuill. E *Isaria* sp. para o controle de *Thaumastocoris peregrinus* CARPINTERO & DELLAPÉ (Hemiptera: Thaumastocoridae). **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 403-411, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509831612.

MACHADO, D. do N.; COSTA, E. C.; GARLET, J.; BOSCARDIN, J.; PEDRON, L.; PERINI, C. R.; BOLZAN, L. Avaliação de inseticidas no controle de *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae) percevejo-bronzeado em condições de laboratório. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 245-250, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.144415.

MAPONDERA, T. S.; BURGESS, T.; MATSUKI, M.; OBERPRIELER, R. G. Identification and molecular phylogenetics of the cryptic species of the *Gonipterus scutellatus* complex (Coleoptera: Curculionidae: Gonipterini). **Australian Journal of Entomology**, v. 51, p. 175-188, 2012. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2011.00853.x.

MASSON, M. V.; TAVARES, W. de S.; LOPES, F. de A.; SOUZA, A. R. de; FERREIRA-FILHO, P. J.; BARBOSA, L. R.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C. *Selitrichodes neseri* (Hymenoptera: Eulophidae) recovered from *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) galls after initial release on *Eucalyptus* (Myrtaceae) in Brazil, and data on its biology. **Florida Entomologist**, v. 100, p. 589-593, 2017.

MATRANGOLO, C. A. R.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, T. M. C.; DELLA LUCIA, R. M.; MENDES, A. F. N.; COSTA, J. M. F. N.; LEITE, H. G. Crescimento de eucalipto sob efeito de desfolhamento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 952-957, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000900003.

MENDES FILHO, J. M. A. Técnicas de combate à formiga. **Série Técnica IPEF**, v. 2, n. 7, p. 13-19, 1981.

NICKELE, M. A.; REIS FILHO, W.; OLIVEIRA, E. B. de.; IEDE, E. T. Densidade e tamanho de formigueiros de *Acromyrmex crassispinus* em plantios de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 347-353, 2009.

NICKELE, M. A.; REIS FILHO, W.; PENTEADO, S. R. C.; QUEIROZ, E. C. Manejo de *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) em plantios florestais na Região Sul do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 335-339.

PEREIRA, F. F.; MELO, A. P. C.; RODRIGUES, O. D.; DIAS, T. K. R.; WILCKEN, C. F. Registro de *Leptocybe invasa* no estado de Goiás. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1721-1724, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130644.

QUEIROZ, D. L.; BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A. *Ctenarytaina spatulata* Taylor: água no solo, nutrientes minerais e sua interação com a seca dos ponteiros do eucalipto. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 46, p. 57-68, 2003.

QUEIROZ, D. L.; BURCKHARDT, D. Introduced *Eucalyptus* psyllids in Brazil. **Journal of Forest Research**, v. 12, p. 337-344, 2007.

QUEIROZ, D. L.; CAMARGO, J. M. M.; DEDECEK, R. A.; OLIVEIRA, E. B.; ZANOL, K. M. R.; MELIDO, R. C. N.; BURCKHARDT, D. Effect of silicon application to *Eucalyptus camaldulensis* on the population of *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Aphalaridae). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, p. 85-94, 2016. DOI: https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.86.976.

QUEIROZ, D. L.; IEDE, E. T.; PENTEADO, S. R. C.; BURCKHARDT, D. *Ctenarytaina eucaypti* (Maskell, 1890) (Hemiptera, Psyllidae): em eucaliptos no Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 39, p. 139-144, 1999.

QUEIROZ, D. L.; MAJER, J.; BURCKHARDT, D.; ZANETTI, R.; FERNANDEZ, J. R. F.; QUEIROZ, E. C.; GARRASTAZU, M.; FERNANDES, B. V.; ANJOS, N. Predicting the geographical distribution of *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psylloidea) in Brazil. **Australian Journal of Entomology**, v. 1, p. 20-30, 2013. DOI: https://doi.org/10.1111/aen.12001.

QUEIROZ, D. L.; TAVARES, W. S.; ARAUJO, C. R.; BURCKHARDT, D. New country, Brazilian state and host records of the eucalypt shoot psyllid, *Blastopsylla occidentalis* (Hemiptera: Psylloidea). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, e201701533, p. 1-4, 2018. DOI: https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701533.

QUEIROZ, D. L.; ZANOL, K. M. R.; ANJOS, N.; ANDRADE, D. P. Dinâmica populacional de *Ctenarytaina spatulata* (Hemiptera: Psyllidae) em *Eucalyptus grandis* com novos regsitros de ocorrência. **Acta Biologica Paranaense**, v. 38, p. 157-178, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abpr.v38i0.16436.

QUEIROZ, D. L.; ZANOL, K. M. R.; BOTOSSO, P. P. C.; MATTOS, P. P. Danos causadas por *Ctenarytaina spatulata* Taylor, 1977 (Hemiptera: Psyllidae) em *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 50, p. 11-24, 2005. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/304097.

QUEIROZ, D. L.; ZANOL, K. M. R.; OLIVEIRA, E. B.; ANJOS, N.; MAJER, J. Feeding and oviposition preferences of *Ctenarytaina spatulata* Taylor (Hemiptera: Psyllidae) on *Eucalyptus* spp and other Myrtaceae growing in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, p. 149-153, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262010000100023.

REIS FILHO, W.; NICKELE, M. A.; PENTEADO, S. R. C.; MARTINS, M. F. O. **Recomendações para o controle químico de formigas cortadeiras em plantios de *Pinus* e *Eucalyptus***. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 354). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1023168.

REIS FILHO, W.; SANTOS, F. dos; STRAPASSON, P.; NICKELE, M. A. Danos causados por diferentes níveis de desfolha artificial para simulação do ataque de formigas cortadeiras em *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, p. 37-42, 2011. DOI: https://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.65.37.

RESENDE, M. Q.; SANTANA, D. L. Q. Ocorrência de três espécies de psilídeo (Hemiptera: Psyllidae) em eucalipto no Espírito Santo, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 22., 2008, Uberlândia. **Ciência, tecnologia e inovação**: resumos... Uberlândia: Sociedade Entomológica do Brasil, 2008. CD-ROM.

RINALDI, D. A. M. da F.; BARBOSA, L. R.; WILCKEN, C. F.; ZACHÉ, B.; ARAÚJO, M. M.; CARVALHO, R. C. Z. de. Ocorrência de *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) em mudas de eucalipto no estado do Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, p. 327-330, 2013. DOI: https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.75.400.

ROSADO-NETO, G. H.; MARQUES, M. I. Características do adulto, genitália e formas imaturas de *Gonipterus gibberus* Boisduval e *G. scutellatus* Gyllenhal (Coleoptera, Curculionidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 13, p. 77-90, 1996. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81751996000100007.

SANCHES, M. A. **Influência da temperatura no desenvolvimento de *Gonipterus scutellatus* Gyllenhal 1833 (Coleoptera, Curculionidae) em *Eucalyptus viminalis* Labill, aspectos bionômicos e parasitismo na região de Curitiba (PR)**. 1993. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTANA, D. L. Q.; ANDRADE, F. M.; BELLOTE, A. F. J.; GRIGOLETTI, A. J. R. Associação de *Ctenarytaina spatulata* e de teores de Magnésio foliar com a seca dos ponteiros de *Eucayptus grandis*. **Boletim Pesquisa Florestal**, v. 39, p. 41-49, 1999.

SANTANA, D. L. de Q.; ANJOS, N. dos. **Microvespa-do-eucalipto-citriodora (*Corymbia citriodora*) - *Epichrysocharis burwelli* Schauff (Hymenoptera: Eulophidae)**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 188).

SANTANA, D. D. Q.; MENEZES JUNIOR, A.; da; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FAVARO, R. M. **O psilídeo-de-concha (*Glycaspis brimblecombei*) em eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico,, 105). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/304166.

SANTANA, D. L. Q. Ocorrência de *Psyllaephagus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae) parasitando *Ctenarytaina eucalypti* (Maskell)(Homoptera Psyllidae) no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 19., 2002, Manaus. **A Entomologia no século 21 e o manejo da biodiversidade**: resumos. Manaus: Sociedade Entomológica do Brasil: INPA: Fundação Universidade do Amazonas, 2002. p. 149. Resumo 026.

SANTANA, D. L. Q. **Psilídeos no Brasil**: 2 - *Ctenarytaina eucalypti* (Maskell, 1980) (Psilídeo das ponteiras do eucalipto). Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 207). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/315487.

SCHÜHLI, G. S.; PENTEADO, S. C.; BARBOSA, L. R.; REIS FILHO, W.; IEDE, E. T. A review of the introduced forest pests in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 397-406, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500001.

SIQUEIRA, G. L. A.; LAZZAROTTO, M.; FERNANDES, M.; SILVEIRA, A. C.; LAZZAROTTO, S. R. S.; SILVA, M. A. C. F.; LACERDA, L. G.; QUEIROZ, D. L.; GOMES, O. Thermo analytical evaluation of essential oils of the leaves from *Eucalyptus* SPP susceptible and resistant to *Glycaspis brimblecombei*. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v. 5, p. 1-6, 2016.

SOLIMAN, E. P.; CASTRO, B. M. C.; WILCKEN, C. F.; FIRMINO, A. C.; POGETTO, M. H. F. A. D.; BARBOSA, L. R.; ZANUNCIO, J. C. Susceptibility of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae), a *Eucalyptus* pest, to entomopathogenic fungi. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 255-260, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0043.

SOUZA, A. R.; CANDELARIA, M. C. BARBOSA, L. R.; WILCKEN, C.F.; CAMPOS, J. M.; SERRAO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Longevity of *Cleruchoides noackae* (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoid of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae), with various honey concentrations and at several temperatures. **Florida Entomologist**, v. 9, p. 33-37, 2016a. DOI: https://doi.org/10.1653/024.099.0107.

SOUZA, A.; ZANETTI, R.; CALEGARIO, N. Nível de dano econômico para formigas-cortadeiras em função do índice de produtividade florestal de eucaliptais em uma região de Mata Atlântica. **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 4, p. 483-488, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2011000400012.

SOUZA, N. M.; JUNQUEIRA, L. R.; WILCKEN, C. F.; SOLIMAN, E. P.; CAMARGO, M. B.; NICKELE, M. A.; BARBOSA, L. R. **Ressurgência de uma antiga ameaça**: Gorgulho-do-eucalipto *Gonipterus platensis* (Coleoptera: Curculionidae). Piracicaba: IPEF, 2016b. (Circular técnica, 209).

TOOKE, F. G. C. **The eucalyptus snout beetle, *Gonipterus scutellatus* Gyll. a study of its ecology and control by biological means**. Pretoria: Department of Agriculture and Forestry, 1955. (Entomology memoirs).

VIEIRA, R. L.; PESSOA, L. G. A.; COSTA, V. A.; LOUREIRO, E. S.; POERSCH, N. L. Primeiro registro de *Psyllaephagus bliteus* parasitando *Glycaspis brimblecombei* em Chapadão do Sul, MS. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, p. 87-90, 2018. DOI: https://doi.org/10.32404/rean.v5i3.2538.

WALLNER, W. E. Invasion of the tree snatchers: the Asian gypsy moth'sentrance into North America shows that exotic-pest invasions can happen inunexpected ways. **American Nurseryman**, v. 183, p. 28-31, 1996a.

WALLNER, W. E. Invasive pests ('biological pollutants') and US forests: whose problem, who pays? **EPPO Bulletin**, v. 26, p. 167-180, 1996b. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1996.tb01544.x.

WILCKEN, C. F.; COUTO, E. B. do; ORLATO, C.; FERREIRA FILHO, P. J.; FIRMINO, D. C. **Ocorrência do psilídeo-de-concha (*Glycaspis brimblecombei*) (Hemiptera: Psyllidae) em florestas de eucalipto no Brasil**. Piracicaba: IPEF, 2003. (IPEF. Circular técnica, 201).

WILCKEN, C. F.; MASSON, M.V.; BARBOSA, L. R.; ZANÚNCIO, J. C. A vespa-da-galha-do-eucalipto, *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle. In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. (org.). **Pragas introduzidas no Brasil**: insetos e ácaros. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 835-844.

WILCKEN, C. F.; OLIVEIRA, N. C. Gorgulho-do-eucalipto *Gonipterus platensis* Marelli. In: VILLELA E. F.; ZUCCHI, R. A. **Pragas introduzidas no Brasil**: insetos e ácaros. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 779-791.

WILCKEN, C. F.; SOLIMAN, E. P.; NOGUEIRA DE SÁ, L. A.; BARBOSA, L. R.; DIAS, T. K. R.; FERREIRA FILHO, P. J.; OLIVEIRA, R. J. R. Bronze bug *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae) on *Eucalyptus* in Brazil and its distribuition. **Journal Research of Plant Protection**, v. 50, p. 184-188, 2010.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; VILELA, E. F.; LEITE, H. G.; JAFFE, K.; OLIVEIRA, A. C. Level of economic damage for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Eucalyptus plantations in Brazil. **Sociobiology**, v. 42, p. 433-442, 2003.

ZANÚNCIO, J. C.; RIBEIRO, G.T.; PEREIRA, J. M. M.; ZANUNCIO, T. V. Efeito do desfolhamento causado por formigas cortadeiras em florestas cultivadas. **Naturalia**, v. 24, p. 299-304, 1999.

20

Pesquisas com doenças em eucalipto na Região sul do Brasil

Celso Garcia Auer
Álvaro Figueredo dos Santos

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* têm sido plantadas comercialmente no Brasil desde o início do século passado e, em 2016, apresentaram uma área plantada de aproximadamente 5,67 milhões de hectares. Deste total, a maioria se concentra na região Sudeste (45,3%) seguida pela regiões Centro-Oeste (21%), Nordeste (15,2%), Sul (12,6%) e Norte (5,6%). A região Sul representou aproximadamente 715.000 ha, distribuídos nos estados do Rio Grande do Sul (309.000 ha), Paraná (294.000 ha) e Santa Catarina (112.000 ha), segundo dados de IBÁ (2017) e ACR (2016).

O Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas iniciou suas atividades em 1989 com pesquisas envolvendo doenças do eucalipto, dentre outras espécies florestais. Ao longo desse período de 30 anos, os trabalhos foram direcionados principalmente para a etiologia e o manejo de doenças e, em sua maioria, direcionados para a região Sul do Brasil. As doenças bióticas mais impactantes na produção de mudas são o mofo-cinzento, podridão de estacas e miniestacas e as manchas foliares, enquanto que para a produção de madeira são o cancro, a ferrugem e as manchas foliares. Dentre as abióticas, destaca-se a mortalidade de plantas jovem decorrente da ação de geadas e problemas técnicos durante o plantio de mudas. As doenças bióticas e abióticas constatadas em viveiros e em plantios experimentais podem ser visualizados na Tabela 1.

Os resultados das pesquisas realizadas com as doenças mencionadas foram divulgados em diversas publicações técnico-científicas (Auer; Santos, 2012, 2013, 2017; Auer et al., 2016, 2017; Santos; Auer, 2011; Santos et al., 2001). Apresentam-se, neste capítulo, as principais ações de pesquisa conduzidas pela Embrapa Florestas, com doenças do eucalipto, abrangendo a etiologia e as possíveis estratégias de controle.

Tabela 1. Doenças registradas em eucaliptos na região Sul do Brasil.

Doença	Agente causal	Hospedeiro	Estado*
..... Viveiro			
Tombamento de mudas	*Botrytis cinerea*	*Eucalyptus dunnii*	PR
Tombamento de mudas	*Cylindrocladium candelabrum*	*Eucalyptus grandis*	SC
Tombamento de mudas	*Fusarium oxysporum*	*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus viminalis*	PR, SC
Tombamento de mudas	*Rhizoctonia solani*	*Eucalyptus dunnii*	PR
Mofo cinzento	*Botrytis cinerea*	*Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus benthamii*, *E. viminalis*, *E. grandis*	PR, SC
Podridão de estacas	*Cylindrocladium candelabrum*	*E. dunnii* x *E. benthamii*	PR
Podridão de estacas	*Rhizoctonia* sp.	*E. dunnii* x *E. benthamii*	PR
Oídio	*Oidium eucalypti*	*Eucalyptus alba*, *Eucalyptus badjensis*, *E. benthamii*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus deanei*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus resinifera*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus urophylla*, *E. viminalis*, *Corymbia citriodora*, *Corymbia maculata*, *Corymbia torelliana*	PR
Ferrugem	*Austropuccinia psidii*	*E. grandis*	PR, SC, RS
Mancha foliar	*Cylindrocladium candelabrum*	*E. viminalis*, *E. grandis*, *E. dunnii*	PR, SC
..... Campo			
Oídio	*Oidium eucalypti*	*C. citriodora*	PR
Mancha foliar	*Pilidiella fragariae*	*E. robusta*, *E. urophylla*	SC
Mancha foliar	*Kirramyces epicoccoides*	*E. grandis*, *E. benthamii*	PR, SC, RS
Mancha foliar	*Cylindrocladium candelabrum*	*E. viminalis*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. dunnii*	PR, SC
Mancha foliar	Espécies de Mycosphaerella e Teratosphaeria	*E. viminalis*, *E. dunnii*, *E. saligna*, *Eucalyptus globulus*	PR, SC, RS
Mancha foliar	*Harknessia* sp.	*E. viminalis*	PR
Mancha foliar	*Xanthomonas axonopodis*	*E. grandis* x *E. urophylla* (híbrido “urograndis”)	PR, SC

continua...

Tabela 1. Continuação...

Doença	Agente causal	Hospedeiro	Estado*
Queima de ponteiros	*Colletotrichum* sp.	*E. viminalis*	PR, SC
Ferrugem	*Austropuccinia psidii*	*E. grandis*, *E. dunnii*	PR, SC, RS
Cancro	*Crysoporthe cubensis*	*Eucalyptus oreades*, *E. grandis*, *E. viminalis*	PR, SC
Cancro	*Botryosphaeria dothidea* - *Dothiorella* sp.	*E. badjensis*, *E. benthamii*, *E. globulus*	PR, RS
Seca e morte	*Cytospora* sp.	*E. viminalis*	RS
Cancro da haste	*Phomopsis* sp.	*E. dunnii*	PR
Podridão do cerne	Associação de vários grupos de fungos decompositores de madeira	*E. grandis*, *E. robusta*	PR, SC, RS
Seca de ponteiros	*Botryosphaeria rhodina* - *Lasiodiplodia theobromae*	*C. citriodora*, *E. grandis*	PR
Murcha bacteriana	*Ralstonia solanacearum* biovar 1	*E. urophylla*, *E. grandis*, híbrido "urograndis"	SC

Estados: PR (Paraná); SC (Santa Catarina); RS (Rio Grande do Sul).

Fonte: Auer e Santos (2009).

Pesquisas com doenças em viveiro

Apesar dos avanços significativos das técnicas de produção de mudas, a podridão de estacas e de miniestacas e manchas foliares ainda ocorrem em viveiros (Auer et al., 2016; Auer; Santos, 2017). As pesquisas com estas doenças do eucalipto relacionaram-se à identificação de agentes causais e de fontes de inóculo e respectivo controle (Auer; Santos, 2017).

A espécie *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage é recomendada pela Embrapa Florestas para a região Sul do Brasil, devido à sua adaptabilidade ao clima frio da região. Contudo, tem-se verificado perdas na produção de mudas em viveiros devido ao mofo cinzento e apodrecimento de estacas (Schultz, 2011). Pesquisas foram conduzidas visando identificar a(s) causa(s) desta(s) doença(s) em viveiros. Destacam-se, nestes trabalhos, a identificação dos fungos *Botrytis cinerea* (sin. *Botryotinia cinerea* (De Bary) Whetzel), Complexo *Calonectria scoparia*, *Fusarium* spp. e *Pestalotiopsis* sp. como os agentes causais do mofo cinzento e da podridão de miniestacas de *E. benthamii*. Além disso, verificou-se que as miniestacas assintomáticas, tubetes, brita, areia e substrato eram as principais fontes de inóculo dos patógenos (Coelho, 2018). Uma das alternativas trabalhadas para o controle do mofo cinzento foi o controle biológico com fungos endofíticos, os quais podem competir com os patógenos na parte aérea de mudas de eucalipto (Sbravatti Junior, 2013). Para a seleção dos endofíticos com potencial de controle, os testes foram realizados em duas etapas: in vitro e in vivo. Os resultados mostraram que o endófito, com maior potencial de controle, foi *Trichoderma atroviride* (Sbravatti Junior et al., 2016).

Pesquisas com doenças em campo

Ferrugem

A ferrugem, causada pelo fungo *Austropuccinia psidii* (G. Winter) Beenken (sin. *Puccinia psidii* Winter), tem ampla distribuição geográfica no Brasil, afetando diversas espécies de mirtáceas nativas e cultivadas (Auer et al., 2016). A ferrugem ataca brotações novas de mudas e de árvores jovens de eucalipto, reduzindo o crescimento das mesmas. A doença ocorre em viveiros, jardins clonais e plantações jovens, até um ano de idade e sua ocorrência tem sido verificada em plantios de várias espécies de eucalipto e no híbrido "urograndis", nos estados da região Sul do Brasil. Para o controle desta doença no campo, empregam-se clones resistentes ao patógeno. Outra medida de controle é o mapeamento baseado em dados climáticos favoráveis

à ferrugem e o plantio nas áreas consideradas livres da doença. Por último, o uso de fungicidas nos viveiros e plantios jovens.

Uma das estratégias de controle da ferrugem investigada pela equipe da Embrapa Florestas foi o zoneamento climático (Bora, 2013; Brito, 2013). As pesquisas visaram identificar regiões de favorabilidade climática baseadas na germinação de esporos e infecção por *A. psidii*, além de prever cenários climáticos futuros para a ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil.

Os mapas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto gerados foram validados pelo confronto com a situação atual do problema fitossanitário no estado do Paraná (Bora, 2013). Ocorreram diferenças entre o previsto pelos mapas gerados e a ocorrência real do problema fitossanitário, as quais foram ajustadas por meio da alteração dos modelos ou limites, a fim de corrigir as discrepâncias e os novos modelos geraram novos mapas. Foram criados quatro cenários para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná: muito favorável, favorável, intermediário e desfavorável. Verificou-se que as condições mais favoráveis para a ferrugem ocorrem com o período de molhamento foliar de quatro horas e, principalmente, no período de verão. O inverno foi a estação menos favorável à ocorrência de ferrugem. O zoneamento do estado do Paraná, com base na germinação de urediniósporos de *A. psidii*, apresentou mais áreas favoráveis à doença, se comparado com o zoneamento elaborado com a infecção. O zoneamento climático da ferrugem do eucalipto pode ser feito com base nas variáveis climáticas favoráveis à infecção.

Como os cenários das mudanças climáticas projetados pelo IPCC poderão alterar o padrão de distribuição de patógenos e doenças, analisou-se, também, os futuros cenários de ocorrência da ferrugem na região Sul do Brasil (Brito, 2013), identificando sua distribuição geográfica e temporal, com base nas variáveis climáticas favoráveis à infecção por *A. psidii* (Figura 1).

A partir de estudos epidemiológicos publicados (Ruiz et al., 1989), foram coletados dados das variáveis climáticas que influenciam o processo de infecção por *A. psidii*, em eucaliptos (temperatura média e período de molhamento foliar noturno). Para a montagem dos mapas, foram escolhidos modelos climáticos futuros baseados nos cenários A2 e B1 do IPCC, nos períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100. Com base nos limites bioclimáticos de desenvolvimento de *A. psidii*, foram classificadas quatro classes de risco de ocorrência da doença (Alto Risco, Médio Risco, Baixo Risco e Sem Risco), sendo que a área de cada uma destas classes foi medida e convertida em porcentagem, para verificar possíveis tendências de acréscimo ou decréscimo das áreas de risco. Primeiramente, foi criado um cenário com as condições atuais do clima e, a partir deste, foram criados os cenários futuros. Os índices climáticos foram estabelecidos na escala temporal mensal. Após a confecção dos mapas, verificou-se que, no cenário atual, o verão é a estação mais favorável ao desenvolvimento da ferrugem, com grandes áreas de alto risco, enquanto o inverno é a estação menos favorável, com

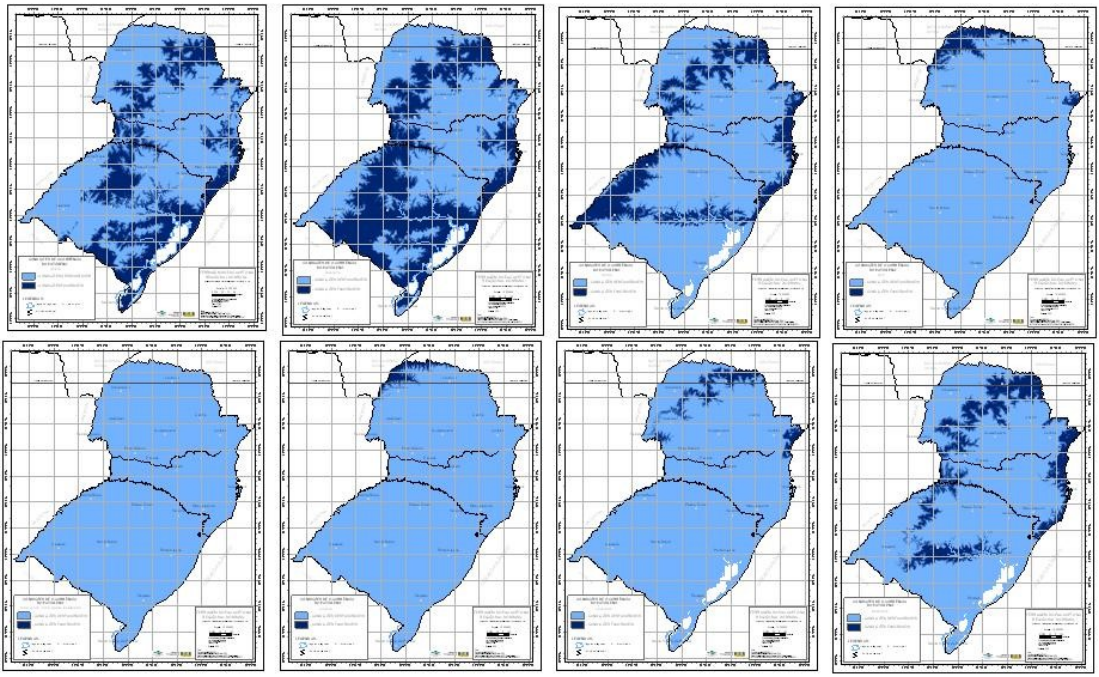


Figura 1. Condições climáticas favoráveis à ocorrência da ferrugem do eucalipto ao longo dos meses, na região Sul do Brasil.
Fonte: Brito (2013).

grande parte da área classificada como sem risco. Com o passar das décadas, em ambos os cenários futuros, as classes de baixo risco e sem risco da doença tendem a diminuir, devido principalmente ao aumento das temperaturas mínimas. Também foi observada a tendência de inversão do padrão atual, ou seja, no decorrer dos anos o verão tende a tornar-se menos favorável, enquanto o inverno passa a ser mais favorável. Observou-se também que o molhamento foliar sofre poucas alterações com o passar dos anos, de modo que a maioria das mudanças será devida às alterações de temperatura.

Outra estratégia pesquisada para o controle dessa doença em plantios jovens foi o uso de fungicidas. Santos e Auer (2011) verificaram que os fungicidas tebuconazol, trifloxistrobin + tebuconazol, ciproconazol e triadimenol, nas doses de 0,75; 0,5; 0,5 e 0,75 de produto comercial (p.c.)/ha, controlaram eficientemente a ferrugem do eucalipto, no intervalo de aplicação de 15 dias (Tabela 2). Os fungicidas tebuconazol, trifloxistrobin + tebuconazol e ciproconazol ampliaram as alternativas de produtos a serem usados no controle da ferrugem do eucalipto, assim como o uso de menores quantidades de princípio ativo a serem aplicados por área. Atualmente, estes produtos se encontram registrados no Mapa para controle da ferrugem do eucalipto.

Tabela 2. Avaliação da eficiência de fungicidas no controle da ferrugem do eucalipto, aplicado no intervalo de 15 dias. Barra Velha-SC. 2011.

Tratamento	Dose (p.c./ha^{-1})*	Escala 1	Escala 2
Tebuconazol	0,75 L/ha	0,45 b**	0,30 b
Trifloxistrobina + Tebuconazol	0,5 L/ha	0,32 b	0,22 b
Ciproconazol	0,5 L/ha	0,32 b	0,20 b
Triadimenol	0,75 L/ha	0,50 b	0,30 b
Testemunha	Sem aplicação	1,10 b	3,30 a

*dose (p.c./ha^{-1}): produto comercial utilizado por hectare; ** Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de nível de significância.

Fonte: Santos e Auer (2011).

Mancha foliar em *Eucalyptus benthamii*

A mancha foliar no eucalipto causada pelos fungos do gênero *Calonectria* (anamorfo *Cylindrocladium*) é uma das principais doenças da cultura que ocasiona lesões e desfolha de árvores e redução no crescimento do hospedeiro (Schultz et al., 2015). Assim, os objetivos das pesquisas executadas foram caracterizar o agente causal e avaliar o controle genético da doença em teste de progênie estabelecido em três municípios dos estados de Paraná e Santa Catarina, para selecionar indivíduos resistentes aos programas de melhoramento genético da espécie (Soares, 2019). Caracteres morfológicos e sequências de DNA de duas regiões gênicas: β-tubulina (TUB) e calmodulina (CAL) foram usados para identificar as espécies fúngicas, indicando as espécies *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata* como os agentes causais da mancha. Este foi o primeiro relato de ambas as espécies em *E. benthamii* e o primeiro relato de *Calonectria metrosideri* em plantios do gênero *Eucalyptus*, em nível mundial (Soares et al., 2019).

No caso das análises genéticas do teste de progênies de *E. benthamii* foi demonstrada a variabilidade genética nas populações. As estimativas de herdabilidade média de progênies (parâmetro h2mp) variaram de 0,14 a 0,64 nas análises individuais; na análise conjunta foi de 0,39, o que sugere elevados ganhos genéticos para seleção nos locais. Ocorreram superestimativas de mais de 100% para os ganhos genéticos de seleção ao considerar *E. benthamii* como espécie alógama quando, de fato, possui sistema reprodutivo misto. A avaliação conjunta revelou correlação genética das progênies de 0,62; valor abaixo do recomendado pela literatura, para a formação de uma única zona de melhoramento para os três locais, indicando que a seleção de materiais resistentes à mancha deverá ser realizada para cada local. Pesquisas como esta são de grande relevância ao setor florestal, para contornar esse tipo de problema e auxiliar na tomada de decisões. A seleção de indivíduos resistentes é o método mais indicado para o controle de manchas foliares no campo (Auer et al., 2016).

Mancha foliar e cancro em *Eucalyptus grandis*

A seleção simultânea para várias características no melhoramento florestal surge como uma alternativa para a redução no tempo utilizado para se obter ganhos genéticos para diferentes variáveis de interesse, em um mesmo ciclo de seleção. Pesquisa foi desenvolvida com base na elaboração de uma estratégia de melhoramento, por meio da seleção de materiais genéticos com bom crescimento e resistentes ao cancro e à mancha foliar, em progênies de *E. grandis* estabelecidas em duas localidades: Anhembi, SP e Itatinga, SP (Rezende, 2018). A incidência e severidade das doenças foram avaliadas. A variável resistência ao cancro foi considerada em três avaliações, a resistência à mancha foliar somente nas duas primeiras avaliações e a sobrevivência apenas na última avaliação, em cada local. Para o crescimento das árvores, foi utilizada a variável DAP (diâmetro à altura do peito) tomada aos 22 meses de idade. Foram estimados os parâmetros genéticos, correlações e interação genótipo ambiente das progênies de *E. grandis*, para todas as características, utilizando o software Selegen REML/BLUP®. Com base nos resultados das estimativas genéticas foi testada a seleção das 60 melhores famílias. Os ganhos obtidos pelas progênies foram comparados utilizando a performance relativa em relação às testemunhas comerciais (clones do híbrido "urograndis" e de *Eucalyptus urophylla*) inseridas no teste de progênies.

Com base nas análises de campo, verificou-se que as progênies apresentaram incidência e severidade de cancro e de mancha foliar semelhantes às testemunhas comerciais. Os locais não influenciaram a incidência e severidade média de cancro e de mancha foliar. No caso das análises genéticas do teste de progênies, os valores de herdabilidade média de progênies e individual foram baixos em Anhembi-SP, demonstrando baixa variabilidade genética entre e dentro de progênies testadas. Em Itatinga-SP, foram obtidos valores de herdabilidade média de progênies e individual de moderados a altos, permitindo bons ganhos com a seleção, que deve ser realizada neste local. Os valores de correlação genética e de herdabilidade obtidos nas diferentes idades de avaliação do cancro e da mancha foliar indicam que a seleção pode ser feita com dados coletados aos 27 meses e aos 15 meses, respectivamente. Os valores de correlação genética também indicam que a seleção indireta para sobrevivência pode ser feita utilizando a seleção para cancro, pois o principal impacto negativo dessa doença é a mortalidade de plantas jovens. O índice de seleção de Smith e Hazel, utilizando pesos iguais para todas as variáveis, foi definido como o mais adequado para a seleção das 60 melhores famílias no teste de progênies em Itatinga. Este índice de seleção proporcionou ganhos genéticos superiores às médias obtidas no teste pelas testemunhas, para todas as variáveis.

Este estudo revelou que a implantação de testes com incidência e severidade de doenças deve ser feita em locais favoráveis à sua ocorrência. No caso, Itatinga foi mais favorável à ocorrência da mancha foliar e do cancro, em relação a Anhembi. A

exemplo do resultado do estudo com manchas foliares em *E. benthamii*, a seleção de indivíduos resistentes é o método mais indicado para o controle de cancro (Alfenas et al., 2009).

Seca de ponteiros de eucalipto em Arapoti (SPEA)

A SPEA ocorreu em área limitada de plantios de *E. grandis*, em meados da década de 1990, na região de Arapoti, estado do Paraná, assemelhando-se à Seca de Ponteiros do Eucalipto do Vale do Rio Doce (SPEVRD), constatada na região do Vale do Rio Doce, estado de Minas Gerais. O principal sintoma era uma lesão formada na inserção de galhos com a haste, na inserção dos ramos e nos pecíolos de folhas, que surgia rapidamente em árvores com mais de sete meses, ocorrendo até o segundo ano de vida, podendo causar o secamento parcial ou total da copa das árvores mais afetadas. As pesquisas concluíram que a SPEA era uma doença considerada complexa por ser decorrente da ação inicial de fatores abióticos (precipitação pluvial excessiva no final da primavera e início do verão) seguida de agentes bióticos (ação de insetos, psilídeos e patógenos secundários). O problema foi solucionado no final da década de 1990 com o plantio do híbrido "urograndis" na região de Arapoti, que se mostrou resistente em relação ao *E. grandis*. Além disso, o uso de espécies e procedências de eucaliptos e corímbias tolerantes à SPEVRD, tais como *Corymbia torelliana* (Queensland-Austrália), *E. grandis* (procedência Atherton-QLD apresenta tolerância intermediária), *E. pellita* (procedência Helenvalle-QLD) e *E. saligna*, ou clones originados desses materiais foi também recomendada para controle desta síndrome (Santos et al., 2001).

Considerações finais

Na região Sul do Brasil, tem-se verificado a ocorrência de tombamento de mudas, morte de estacas e miniestacas, ferrugem, mancha foliar e oídio em viveiros; cancros, murchas vasculares, ferrugem, manchas foliares, podridão de cerne de árvores vivas e problemas abióticos (geadas e granizo) em plantios de *E. grandis, E. dunnii, E. benthamii* e o híbrido "*urograndis".* As ações de pesquisa com doenças do eucalipto foram direcionadas para a identificação do agente causal e de práticas de manejo das doenças (controle de fontes de inóculo, da irrigação, da adubação, de estresses abióticos, aplicação de produtos químicos e resistência genética).

Algumas tecnologias e conhecimentos gerados pela Embrapa Florestas merecem ser destacados, tais como: mapas de zoneamento da ferrugem na região Sul do Brasil; controle químico da ferrugem; identificação e definição de estratégias de controle de doenças em viveiros, relato de novas doenças, zoneamento climático e métodos

de seleção de material resistente em condições de ocorrência natural da doença. Além disso, a equipe de patologistas tem atuado fortemente na diagnose de doenças demandada pelo segmento florestal de todas as regiões brasileiras. Esta prestação de serviços subsidia as ações de controle a serem implementadas pelos produtores e empresas.

A equipe do Laboratório de Patologia Florestal também vem colaborando intensamente na formação de recursos humanos, com a orientação de estudantes de graduação e pós-graduação de várias universidades brasileiras, especialmente a Universidade Federal do Paraná. Outra vertente de trabalho regular tem sido subsidiar os levantamentos do Mapa, em temas relacionados a patógenos quarentenários do eucalipto.

Referências

ACR. Associação Catarinense de Empresas Florestais. **Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2016 (ano base 2015)**. Lages, 2016. Disponível em: http://www.acr.org.br/download/ biblioteca/ACR_2016.pdf. Acesso em: 9 maio 2019.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV. 2009. 500 p.

AUER, C. G.; BRITO, G. S.; WREGE, M. S.; SANTOS, A. F. dos. Influência das mudanças climáticas nas zonas de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 262-279.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Doenças fúngicas quarentenárias de arbóreas para o Brasil e medidas preventivas. In: SANTOS, B. A. dos; ZANOTTO, E.; PINTO, F. A. M. F.; DORNELAS, G. A.; VASCO, G. B.; SILVA, G. M. da; SANTOS NETO, H.; ALENCAR, N. E.; MARTINS, S. J.; TERRA, C. T. (ed.). **Patologia florestal**: desafios e perspectivas. Lavras: Núcleo de Estudos em Fitopatologia, UFLA, 2013. p. 335-350.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos; FURTADO, E. L. Doenças do eucalipto. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E A. (org.). **Manual de fitopatologia doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. v. 2. p. 359-372.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. **Patógenos florestais de importância quarentenária para o Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Principais doenças em espécies de eucalipto utilizadas para a produção de energia na região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 178).

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Principais doenças em viveiros de eucalipto. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (org.). **Produção de mudas de eucalipto**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 1-7.

BORA, K. C. **Favorabilidade climática da ferrugem do eucalipto no Estado do Paraná**. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRITO, G. S. **Cenários climáticos futuros para a ocorrência da ferrugem do eucalipto na região sul do Brasil**. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COELHO, T. A. V. **Mortalidade de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* e possíveis fontes de inóculo**. 2018. 40 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2017**. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 9 maio 2017.

REZENDE, E. H. **Melhoramento genético de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maden) visando crescimento e a resistência ao cancro e a mancha foliar**. 2018. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RUIZ, R. A. R.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A.; VALE, F. X. R. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, do fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 14, n. 6, p. 55-61, 1989.

SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G. **Controle químico da ferrugem do eucalipto em plantios jovens**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 274). Disponível em: http://www. infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/897988.

SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JUNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil**: identificação e controle. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 45). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/289926.

SBRAVATTI JUNIOR, J. A.; POITEVIN, C. G.; ROBL, D.; SANTOS, A. F. dos; PIMENTEL, I. C.; DALZOTO, P. do R.; AUER, C. G. Redução da severidade do mofo cinzento em mudas de *Eucalyptus benthamii* tratadas com *Trichoderma atroviride*. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 4, p. 363-365, 2016.

SBRAVATTI JUNIOR, J. A. **Seleção de fungos endofíticos para o controle biológico de *Botrytis cinerea* Pers.: Fr em mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. 2013. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHULTZ, B. **Levantamento de doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden nos estados do Paraná e Santa Catarina**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHULTZ, B.; SBRAVATTI JUNIOR, J. A.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Impacto da mancha foliar causada por *Cylindrocladium candelabrum* em plantios jovens de *Eucalyptus benthamii* em Rio Negrinho - SC. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 307-316, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509818448.

SOARES, I. D.; AUER, C. G.; DOS SANTOS, A. F.; FERNANDES, R. A.; SOARES, T. P. F.; FERREIRA, M. A. First report of Calonectria leaf blight caused by *Calonectria metrosideri* on *Eucalyptus benthamii* in Brazil. **Plant Disease**, 2019. DOI: https://doi.org/10.1094/PDIS-01-19-0237-PDN.

SOARES, I. D. **Etiologia da mancha foliar e resistência genética em *Eucalyptus benthamii* à *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata***. 2019. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

21

Produção, tecnologia e uso das sementes de eucalipto no Brasil

João Antonio Pereira Fowler

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Importância das sementes florestais

Os plantios florestais com espécies exóticas desempenham papel estratégico não somente para disponibilizar para produção de celulose ou para a indústria florestal, mas também madeira para energia e para utilização nas propriedades rurais. Os plantios florestais são igualmente importantes para a estabilização do solo, melhoria do ambiente urbano e rural e como integrante dos sistemas agroflorestais. Essa habilidade de crescer em relação simbiótica com as culturas agrícolas é característica essencial. Esses desdobramentos induzem novas oportunidades e problemas na coleta e manejo das sementes. As árvores são propagadas por sementes, com algumas exceções, e a qualidade das sementes tem efeito enorme no sucesso da expansão das plantações florestais. O uso de sementes de qualidade e procedência adequada é o melhor meio de assegurar às plantações florestais, rápido crescimento, alta produtividade e qualidade da madeira. A semente com qualidade genética é aquela bem adaptada ao sítio e ao uso para o qual foi plantada e qualidade fisiológica é aquela que apresenta alto vigor e germinação. Igualmente importantíssimo é o adequado manejo das sementes desde a coleta na árvore-matriz até a sementeira no viveiro.

A produção de sementes de eucalipto no Brasil

O eucalipto possui mais de 900 espécies, computando subespecies e variedades, agrupadas em três gêneros *Eucalyptus, Corymbia* e *Angophora*. Toda a ocorrência natural desses gêneros concentra-se principalmente no continente australiano, na Indonésia e ilhas vizinhas (Weule, 2018).

Os primeiros ensaios organizados de introdução do eucalipto no Brasil foram efetuados pelo Engenheiro-agrônomo Armando Navarro de Andrade entre os anos de 1905 e 1915, com o objetivo de fornecer sementes para o estabelecimento de plantios nas terras da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, no estado de São Paulo, para suprir as necessidades iniciais de 1.000.000 de dormentes e 600.000 m^3 de lenha por ano. Esses plantios, compostos de muitas espécies, foram estabelecidos próximos uns dos outros, nos hortos de Rio Claro, SP, principalmente, favorecendo a hibridação, com segregação na segunda e terceira gerações, por isso produzindo grande variação de altura de fuste, afetando principalmente a sobrevivência e o crescimento dos povoamentos. No final da década de 1960, em decorrência da expansão da cultura para outras regiões brasileiras, houve um surto da doença fúngica conhecida como cancro, quando surgiram híbridos de eucaliptos que mostravam de resistência a essa doença e características silviculturais apropriadas, tendo, por isso, impulsionado o desenvolvimento de

protocolos para a propagação vegetativa, que perdurou até meados da década de 1990, com ênfase à propagação clonal. A fase atual da eucaliptocultura é caracterizada pela micropropagação.

A importância do eucalipto para o País é confirmada pelos mais de cinco milhões de hectares plantados. Estima-se que atualmente 80% desses plantios são feitos com clones e os 20% restantes com mudas produzidas por sementes.

Aspectos legais da produção de sementes no Brasil

A promulgação da Lei nº 10.711 em 5 de agosto de 2003 (Brasil, 2003) e do Decreto nº 5.153 em 23 de julho de 2004 (Brasil, 2004) que a regulamenta, criou um novo paradigma para a produção de sementes no País. A partir destes marcos regulatórios, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), mediante a Instrução Normativa nº 56, de 2011 (Brasil, 2011), revogada pela Instrução normativa n° 17 de 2017 (Brasil, 2017), regulamentou a produção, a comercialização e a utilização de sementes e mudas de espécies florestais, nativas e exóticas, visando garantir sua procedência, identidade e qualidade. Assim, a participação no sistema de produção de sementes inicia-se pela inscrição junto ao Mapa, conforme procedimentos definidos na Instrução Normativa acima mencionada, que pode ser acessada no endereço eletrônico do Mapa. No ato de formalização da inscrição, o produtor deverá definir quais espécies cujas sementes produzirá, a permissão restringe-se àquelas inscritas no Registro Nacional de Cultivares (RNC). As espécies de eucalipto e seus mantenedores inscritos no RNC podem ser acessados também no endereço eletrônico do Mapa, www.agricultura.gov.br, salientando que a inscrição de produtor de sementes de material registrado depende de autorização do detentor dos direitos de propriedade, que são os mantenedores (Brasil, 2010).

Os sistemas propostos estabelecem as seguintes classes de áreas de produção de sementes: Áreas de Coleta de Sementes (ACS), Áreas de Produção de Sementes (APS) e Pomares de Sementes (PS), que poderão estar enquadrados como certificadas ou não certificadas. O sistema não certificado de produção de sementes é composto das seguintes categorias: semente identificada, semente selecionada, semente qualificada e semente testada. O sistema certificado de produção de sementes é composto das seguintes categorias: semente selecionada certificada, semente qualificada certificada e semente testada certificada, com vinculação à região bioclimática recomendada para plantio.

O sistema de produção estabelece como certificadores o Mapa, entidades privadas e a possibilidade de certificação da produção própria, para aqueles produtores que utilizam as sementes para uso próprio. As normas criam a possibilidade de inscrição no sistema de empresas executoras de coleta, beneficiamento e armazenamento.

Considerando a necessidade de organizar e incrementar, em âmbito nacional, a produção e o comércio de sementes e mudas de espécies florestais, nativas e exóticas, o desempenho das exportações e importações, da elaboração e atualização de padrões de produção e de comércio, visando atender ao mercado nacional e internacional, bem como da necessidade de elaboração de normas complementares à legislação das sementes e mudas florestais, constituiu-se no âmbito do Mapa a Comissão Técnica de Sementes e Mudas de Espécies Florestais Nativas e Exóticas, com representantes de várias instituições como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, representada pelas unidades Embrapa Florestas e Embrapa Amazônia Oriental, Associação Brasileira de Produtores de Sementes (Abrasem), Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes (Abrates), Associação Brasileira de Comerciantes de Sementes (ABCSEM), Rede de sementes, Universidades, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), cuja competência é propor normas a serem adotadas no planejamento e acompanhamento da produção e do comércio de sementes e mudas de espécies florestais nativas e exóticas, complementares à legislação e assessoramento à Comissão de Semente e Mudas (CSM) dos Estados.

A organização da produção de sementes e mudas de espécies florestais, proporcionada pela publicação das normas que regulamentam a produção comercialização e a utilização de sementes e mudas de espécies florestais, nativas e exóticas no final de 2011, possibilitou o acesso às informações do setor produtor de sementes e mudas de cada espécie e, consequentemente, o conhecimento dos números efetivos e detalhados destes insumos. A atuação como comerciante, no sistema oficial de sementes, demanda obrigatoriamente sua inscrição no Registro Nacional de Sementes e Mudas (Renasem), órgão fiscalizador da Unidade Federativa em que está estabelecido. A semente apta à comercialização no país é somente aquela produzida e identificada de acordo com as normas, sendo permitido o fracionamento do lote em quantidades variáveis, desde que sejam mantidas as informações da embalagem original. A semente deve estar identificada na embalagem e devidamente documentada nos casos de transporte, da nota fiscal e da cópia do Atestado de Origem Genética ou do Certificado de Sementes Florestais ou do Termo de Conformidade de Sementes Florestais.

Produção de frutos e sementes de eucalipto

Indução ao florescimento

A indução do florescimento pode ocorrer pela aplicação do composto paclobutrazol (PBZ) que retarda o crescimento vegetativo, por inibir a síntese de ácido giberélico,

uma vez que reduz a taxa de divisão e de expansão celular. Esse produto promove também outras alterações fisiológicas na planta, incluindo a partição de carboidratos e respostas ao estresse hídrico. Além de proporcionar o florescimento precoce das plantas, reduz o comprimento dos internódios, o comprimento e a largura das folhas e o aumento da produção de flores e frutos. O composto tem efeito mais marcante em espécies de folhas verdes (*E. grandis* e *E. saligna*) e subglaucas (*E. dunnii*). Tem efeito menos marcante em espécies que apresentam folhas glaucas, exceto *E. globulus*, onde se consegue floração em plantas com um ano de idade. Foi observado também que o paclobutrazol pode ser aplicado por meio de injeção no tronco, *spray* foliar e por irrigação no solo para absorção pelas raízes. A dosagem é 0,25 g do produto por estaca enraizada. Quando aplicado no solo, a periodicidade deve ser anual para resposta mais efetiva, recomendando-se que seja feita no final do verão (Araújo et al., 1995).

Formação das sementes

As flores de todas as espécies do gênero *Eucalyptus* são hermafroditas, contudo as espécies são preferencialmente alógamas, mas, pelas características do sistema reprodutivo, a taxa de autogamia pode atingir até 30%. A alogamia é favorecida pela protandria, ou seja, o estigma alcança sua receptividade antes do período de viabilidade máxima dos grãos de pólen. Entretanto, esse mecanismo não elimina a possibilidade de ocorrência de autopolinização, pois uma mesma planta apresenta flores com diferentes estágios de maturação (Eldridge, 1978). Além da protandria, existe um sistema de autoincompatibilidade controlado geneticamente, que varia em intensidade entre espécies e grupos de espécies. Assim, como no eucalipto o sistema reprodutivo é preferentemente alógamo, suas populações são compostas por indivíduos heterozigotos. A característica distinta das espécies desse gênero são as flores, que são constituídas de pedúnculo, pedicelo, receptáculo, sépalas, pétalas, estame e pistilo. O pólen é produzido na antera, parte componente dos estames, que são microsporófilos especializados. O pólen está dentro das anteras, sendo liberados na maturidade através das fissuras. Os óvulos são envolvidos em um pistilo, formado por vários carpelos. Em um ovário com vários carpelos ocorre a formação de vários frutos separados. Os óvulos são anexados à placenta pelo funículo, e o integumento com uma pequena passagem, a micrópila, envolve cada óvulo. O desenvolvimento do gametófito feminino varia entre os grandes grupos taxonômicos, porém é comum entre todas as angiospermas que ocorra a formação, após a meiose, da célula-ovo haploide e uma célula diploide central. Após a polinização, o grão de pólen germina no estigma e os espermatófitos fazem seu caminho até o óvulo via tubo polínico. A fertilização dupla ocorre usualmente quando um dos espermatófitos se une com a célula central e o outro ao ovo. O primeiro se desenvolve para o endosperma triploide, tornando-se o suprimento nutricional do embrião; e o outro forma o zigoto diploide, que se desenvolve em

embrião. A fertilização dupla ocorre somente nas angiospermas. O ciclo reprodutivo das angiospermas é usualmente rápido, e a diferenciação floral ocorre no ano anterior ao florescimento e frutificação (Schimdt, 2000).

Maturação dos frutos

O intervalo entre o florescimento e a maturação das sementes e frutos varia muito entre as espécies de eucalipto, mesmo dentro do mesmo gênero, desde um até 16 meses.

Para muitas espécies, o fruto se desenvolve somente próximo da fase de fertilização e quando a semente está envolta pelos órgãos de suporte. No caso de ocorrer falha na polinização ou fertilização, as flores abortam. Contudo, em algumas espécies de eucalipto, os frutos formam sementes sem órgãos de suporte, fenômeno conhecido como partenocarpia. Os frutos sem órgão de suporte das espécies angiospermas partenocárpicas são frequentemente muito menores do que daqueles com órgãos de suporte às sementes. Os frutos formados de vários pistilos de flores em inflorescências comprimidas (múltiplos frutos) ou de pistilos separados em uma flor (frutos agregados), usualmente desenvolvem-se somente os frutos que contêm sementes, tornando-os por vezes assimétricos. Em flores com vários óvulos, em um ou vários carpelos fundidos, a formação do fruto pode requerer um número mínimo de óvulos fertilizados, para a formação do fruto.

Por outro lado, as fertilizações nem sempre promovem a formação do fruto, ou seja, as espécies polinizadas por animais ou insetos, frequentemente, produzem grandes quantidades de flores, visando atrair os polinizadores. As espécies que apresentam frutos pequenos, muitos deles podem se desenvolver de uma inflorescência.

A maturação dos frutos e sementes é sincronizada normalmente, contudo a coleta de frutos com muita antecedência, relativamente à maturidade, afeta o vigor das sementes. Nos estádios finais da maturação das sementes, ocorrem a formação e o armazenamento de proteínas e hormônios, como é o caso das sementes do eucalipto. A desidratação das sementes em frutos secos ocorre concomitantemente com a desidratação do fruto. Nos frutos frescos, a desidratação é o resultado do aumento da pressão osmótica, decorrente da formação de açúcares na polpa do fruto. O conteúdo final de umidade das sementes depende da espécie e do ambiente externo. As sementes ortodoxas podem atingir entre 5% e 10% de umidade na maturação, estabilizando entre 8% e 12%, dependendo da umidade do ar. A desidratação máxima provoca a abertura dos frutos deiscentes e a liberação das sementes. No caso do eucalipto, o fruto é denominado opérculo.

Os frutos estão agregados às brácteas pelo pedúnculo ou pedicelo. As sementes estão agregadas aos frutos pelo funículo. Nos frutos e flores em desenvolvimento, o fluxo de água e de nutrientes ocorre através do pedúnculo e pedicelo para o fruto e via

funículo para as sementes. Os frutos de cápsulas deiscentes permanecem nas árvores durante a fase de dispersão das sementes. As cápsulas vazias ou parte dessas podem permanecer na árvore por longo tempo após a dispersão das sementes. A abscisão das sementes normalmente ocorre entre o funículo e a semente (hilo). A dispersão pelo vento ocorre quando as sementes são leves e pequenas, como é caso da maioria das espécies de eucalipto (Krugman; Jenkinson, 1974).

O estádio de maturação dos opérculos, principalmente as alterações de coloração, informa o momento da coleta antes da abertura e da dispersão das sementes (Schmidt, 2000).

Qualidade genéticas das sementes produzidas

As fontes de sementes e propágulos de espécies introduzidas, entre as quais do eucalipto, são obtidas de populações implantadas para essa finalidade, conhecidas como Área de Coleta de Semente (ACS), Área de Produção de Semente (APS) e Pomares de Sementes, que objetivam produzí-las em grande quantidade e com maior ganho genético, de maneira mais rápida e econômica possível. Entretanto, apesar do potencial genético, o real valor para um empreendimento florestal depende da maneira como essa semente é efetivamente produzida e utilizada. Portanto, com vistas a uma melhor utilização desse potencial para o aumento da produtividade das florestas plantadas, serão discutidos os aspectos mais importantes, envolvidos no processo de produção das sementes em cada uma dessas populações.

Área de coleta de sementes

A Área de Coleta de Semente (ACS) de eucalipto é uma população onde as árvores-matrizes, fenotipicamente superiores, são selecionadas para a coleta das sementes. ACS tem como objetivo principal a adaptabilidade às condições locais, visto que somente os indivíduos mais adaptados que apresentem crescimento vigoroso e alta produtividade de frutos e sementes interessam. A qualidade genética das sementes da ACS é limitada, ainda que as coletas sejam executadas nas árvores de melhor fenótipo, em decorrência de que os indivíduos inferiores fenotipicamente, não são desbastados seletivamente e, por isso, as fontes de pólen não são selecionadas, em decorrência disso o ganho genético é equivalente à metade daquele projetado. As informações sobre a procedência dessa população são necessárias, pois permitem a comparação do desempenho das sementes produzidas com as de outras fontes e também para sua utilização, de acordo com os resultados do teste de procedências e progênies. A utilização dos propágulos de uma determinada ACS deve corresponder às condições ecológicas da região onde esta foi instalada. Entretanto, as condições ecológicas, que estimulam

a precocidade e a intensidade de produção de sementes, nem sempre coincidem com aquelas que levam à formação de raças locais adequadas para a região que se deseja reflorestar. Portanto, a melhor estratégia requer a caracterização ecológica da região potencial para o plantio futuro e nela instalar a ACS, considerando também a facilidade de acesso.

As matrizes na ACS trocam pólen aleatoriamente entre si, não havendo a necessidade de isolamento em sua volta, a menos que os indivíduos adjacentes sejam da mesma espécie da ACS, com as quais possam haver cruzamentos, nesse caso o isolamento deverá ser de 500 m.

Área de produção de sementes

A Área de Produção de Sementes (APS) pode ser definida como a população de espécies com características apropriadas ao intenso desbaste seletivo e ao manejo para a produção de sementes de boa qualidade genética. Pela sua natureza, a APS permite seleções intensas entre as matrizes, assim o ganho genético esperado às sementes produzidas na APS é superior àquele obtido na ACS, mas também é limitado. O objetivo destas áreas é fornecer, em período curto, grande quantidade de sementes de qualidade genética satisfatória. A formação da APS visa favorecer os indivíduos mais vigorosos e prolíficos e que apresentem as características fenotípicas desejáveis. Apesar de as seleções serem dirigidas para as características de importância econômica, somente os indivíduos bem adaptados são favorecidos. A formação da APS conduz diretamente ao desenvolvimento de raças locais ou ecótipos (Pellati et al, 1969).

A correta identificação botânica da espécie é essencial, entre outras coisas, para a verificação da presença de híbridos interespecíficos. A participação dos híbridos na produção de sementes levaria a uma considerável segregação gênica nos seus descendentes, descaracterizando esta fonte de sementes como uma APS. A comprovação da ausência de híbridos na APS é feita por vistoria prévia, e confirmadas por análise genotípica de seus descendentes.

A identificação da procedência e, ou origem da população candidata à transformação em APS é compulsória para efeitos legais, entretanto, no processo evolutivo, os descendentes da APS vão adquirindo características próprias, tornando-se, geralmente, superiores ao material original, quando plantados nesse local.

Para que a APS cumpra a sua finalidade, é essencial que se avalie, em primeiro lugar, a importância da pressão seletiva local no crescimento e forma de fuste, aliando-se a esses atributos a produtividade de frutos. Portanto, a melhor localização para APS é a própria região ecológica que se pretende reflorestar, onde a produtividade e a adaptabilidade poderão ser favorecidas simultaneamente por meio de seleções.

Os desbastes são efetuados com o objetivo primordial de proporcionar condições favoráveis à produção abundante de frutos e sementes. Nesse processo, são eliminadas

as árvores fenotipicamente indesejáveis. Se o povoamento for denso, como nos plantios comerciais, a ausência de floração ou frutificação não deve ser usada, inicialmente, como critério para a eliminação de árvores, uma vez que o estímulo à produção de flores e frutos ocorreria somente após o desbaste, na maioria das árvores.

O rigor aplicável à seleção está intimamente ligado ao número inicial de árvores disponíveis para a seleção e ao número que se deseja manter na área de produção de sementes. Assim, desejando-se manter, aproximadamente, 130 árvores por hectare, um plantio comercial de aproximadamente 85% de sobrevivência possibilitaria uma proporção de seleção em torno de 1:10 a 1:20. Com essa modesta seleção, os ganhos genéticos esperados serão baixos.

A área mínima da APS depende do número de árvores que se deseja manter após os desbastes. Este número é determinado pela quantidade de sementes que se deseja obter. A APS pequena torna as árvores mais sujeitas à polinização por fontes indesejáveis; enquanto que, para espécies que normalmente produzem grandes quantidades de sementes, como é o caso das espécies de eucalipto introduzidas no Brasil, ela pode ser menor. Se o número mínimo de matrizes na APS for 25 e o espaçamento final após último desbaste for de aproximadamente 10 m x 10 m, a área correspondente ocuparia 0,25 ha. Para assegurar o ganho genético, é necessário evitar que fontes de pólen indesejáveis participem da formação da semente na APS.

Quando há árvores indesejáveis nas proximidades, com as quais o cruzamento seja possível, o isolamento total contra essas fontes de pólen é impraticável. Entre as principais medidas para amenizar a influência de pólen externo, pode ser adotada a manutenção de uma faixa de isolamento em volta da APS, devendo esta ser ocupada por espécies com as quais as árvores da APS não cruzem. Alternativamente, esta faixa poderá ser mantida livre de vegetação arbórea. A largura mínima dessa faixa foi objeto de muitos estudos, uma vez que a distância efetiva de dispersão do pólen depende de inúmeros fatores, tais como: tipo de vetores, velocidade e direção do vento, umidade e temperatura do ar, correntes de convecção etc.

A eficácia da faixa de isolamento pode ser aumentada se a coleta das sementes for efetuada somente das árvores localizadas na parte central da APS. Deixando-se as árvores da bordadura somente como obstáculo ou barreira de pólen, a presença delas, em grande quantidade, amenizarão os efeitos do pólen indesejável. Assim, o impacto negativo, na qualidade genética da semente da APS, ficará reduzido. No caso de espécies entomófilas, como a maioria dos eucaliptos, estima-se que a faixa de isolamento deverá ser maior, tendo em vista as distâncias que os insetos (em geral, abelhas) podem voar em busca de alimento, recomendando-se faixas com 500 m de largura.

Existem outras formas de evitar a polinização indesejável, em situações em que a APS esteja rodeada de árvores que constituam fontes de pólen indesejáveis e não há possibilidade de estabelecer faixas de isolamento vazias ou com espécies incompatíveis, nesses casos pode-se recorrer ao isolamento no tempo. Nesta estratégia, os

povoamentos localizados em torno da APS deverão ser manejados de maneira que não contribuam com seu pólen na formação da semente da APS. Isto implica no controle das operações como corte raso ou plantios programados, de tal forma que, pelo período de pelo menos dois anos antes da data prevista para a coleta de sementes na APS, as populações em volta dessa área não estejam liberando pólen. A utilização da APS com esse tipo de isolamento requer controle rígido e inspeções periódicas, e o seu credenciamento é válido somente para a safra do ano especificado. A renovação deverá ficar condicionada a inspeções durante os dois anos antes da safra para a qual se deseja credenciar a APS.

O manejo da APS envolve atividades que proporcionem aumento da quantidade e da qualidade das sementes, como é o caso da colocação de colmeias para maximizar a polinização. Os desbastes seletivos melhoram a qualidade genética das sementes, enquanto que as adubações aumentam a quantidade produzida. A proteção contra incêndios e a eliminação de vegetação competidora, inclusive brotação de cepas das árvores eliminadas são igualmente importantes. As indicações de adubação devem ser feitas com base em resultados de trabalhos técnico-científicos e para os elementos químicos que realmente apresentem resposta ao aumento da produção de sementes.

Pomar de sementes

O estabelecimento de pomar é o meio recomendado para produção de sementes geneticamente melhoradas. As árvores-matrizes utilizadas no pomar são procedentes de teste de progênies, cujas sementes produzidas resultam em plantios mais produtivos e homogêneos. Existem dois tipos principais de pomares de sementes: os pomares de sementes clonais e os pomares de sementes por mudas. Ambos são mais eficientes no sentido de promover o melhoramento genético de determinado caráter do que as áreas produtoras de sementes. Os pomares clonais são estabelecidos a partir de arvores superiores, selecionadas com base no desempenho médio de suas progênies. As árvores-matrizes que se destacam no teste de progênies são selecionadas, propagadas vegetativamente e distribuídas de modo a assegurar que não ocorram cruzamentos entre indivíduos aparentados. Nesses pomares, a produção de sementes é precoce, quando se usa a enxertia, além de permitir alta intensidade de seleção. Seja por enxertia ou por enraizamento de estacas, as árvores-matrizes são multiplicadas vegetativamente gerando os clones, que devem ser plantados separadamente, de modo a assegurar que indivíduos do mesmo clone não se cruzem, evitando assim a autofecundação. O espaçamento de plantio deve ser amplo, tal como 5 m x 10 m, para permitir uma floração abundante e precoce (Hoppe, 2004). Além das operações de manejo indicadas para APS, no caso de pomar clonal, a poda de formação de copas e eliminação de clones inferiores é importante. Outra observação importante é o sincronismo floral entre os clones, sendo que aqueles que não estão sincronizados com os demais devem

ser eliminados, pois apresentarão altas taxas de autofecundação. Na produção dos clones por enxertia, as matrizes são selecionadas quanto às características de forma, volume, estado fitossanitário e qualidade da madeira. Destas, são colhidas sementes para a formação de porta-enxertos, os quais receberão material da própria matriz de origem, para minimizar os problemas de rejeição por incompatibilidade genética.

Os pomares de sementes por mudas são instalados por mudas de origem seminal e apresentam a vantagem de associarem testes de progênies e a produção de sementes, sendo recomendados para espécies em que a reprodução vegetativa é difícil. Esse tipo de pomar de sementes também possibilita uma base genética mais ampla. Nos pomares de sementes por mudas são selecionadas as melhores árvores-matrizes das melhores famílias.

Coleta de frutos (opérculos)

Planejamento

Um aspecto importante é a observação dos ecótipos, ou seja, dar preferência às fontes de sementes implantadas nas mesmas condições ecológicas onde será efetuado o plantio, por estarem mais adaptadas às condições ambientais, gerando assim plantas mais vigorosas. Em algumas espécies, os frutos permanecem na árvore por um longo tempo depois de atingirem a maturidade, em outras apenas por vários meses. Nestas espécies, o tempo de coleta não é crítico, *E. cloeziana* e *E. pilularis* pertencem a este grupo.

Os índices de maturação variam de acordo com o tipo de fruto e com a espécie. As linhas deiscentes do opérculo das cápsulas do eucalipto são um exemplo de bom índice de maturação para esse gênero (Forest Commission, 1994).

Em espécies com um período muito curto de dispersão e cujas sementes são pequenas que se perdem facilmente, deve-se coletar antes do início da dispersão. A secagem artificial de alguns frutos colhidos poderá indicar se eles estão ou não maduros. Se as capsulas abrirem sob dessecação estarão maduros e prontos para a colheita, caso contrário, a colheita deverá ser adiada. Esta verificação é especialmente prática se o frio e a umidade atrasarem a deiscência natural, embora as sementes estejam fisiologicamente maduras. Assim, é importante a determinação do momento oportuno coleta e, para isso, para isso, necessário se faz conhecer as mudanças estruturais nos frutos, principalmente durante o período final de maturação, que variam de acordo com o tipo de fruto e da espécie em cujas árvores serão feitas as coletas. As espécies com frutos deiscentes, como o eucalipto, frequentemente apresentam sinais de abertura, ou seja, linhas indicando a abertura por onde as sementes serão

dispersas. As espécies florestais apresentam seus frutos maduros por períodos curtos de tempo, na maioria dos casos, caindo no chão ou, se forem deiscentes, liberando suas sementes, como é o caso da maioria das espécies de eucalipto. Tais particularidades exigem ações rápidas, objetivando a obtenção da maior quantidade possível de sementes com qualidades desejáveis neste curto espaço de tempo. As quantidades de semente são definidas, levando-se em conta o número de mudas plantadas por área, a taxa de mortalidade após o plantio e o número de mudas produzidas por quilo de sementes. Várias espécies florestais produzem intensamente em um ano e modestamente no ano seguinte, devido à ciclicidade de produção que também difere entre as espécies de eucalipto. *E. grandis*, *E. saligna* e *E. camaldulensis* produzem intensamente a cada dois ou três anos, enquanto que *C. maculata* produz sementes em intervalos de tempo mais longos. A ciclicidade e os padrões de florescimento podem variar da região de ocorrência natural da espécie para a condição do local de introdução. Na Austrália, *C. citriodora* produz sementes em intervalos que variam de 3 a 5 anos, enquanto que produz abundantemente todos os anos no Brasil (Brune, 1981). O acompanhamento da fenologia das árvores-matrizes selecionadas é importante para o planejamento adequado da coleta. A observação do florescimento, as coletas periódicas de frutos desde sua formação, a incidência de pragas, além das condições de acesso às árvores-matrizes são informações necessárias para estimar corretamente a produção de sementes de cada espécie. As informações obtidas no acompanhamento das árvores-matrizes fornecem os indicativos do andamento da maturação e do momento certo da coleta, quando os frutos estão fechados, para evitar que liberem as sementes antes de serem coletados, conforme a Tabela 1.

Para iniciar a coleta das sementes é importante conhecer o estádio de maturação dos frutos, acompanhando a mudança de sua cor, para que a coleta seja feita no momento adequado.

O sistema de coleta em compartimento sugere a divisão da área de produção de sementes em quatro compartimentos iguais, para coletas sucessivas nos quatro anos seguintes, de todas as árvores de cada uma dessas subdivisões. A coleta pode consistir no corte drástico dos ramos de 6 m a 7 m, em relação ao fuste da árvore matriz. A brotação apical também é podada, visando o estímulo à emissão de novas brotações a partir de gemas adventícias. Este sistema de coleta em APS de *E. grandis* possibilitou um aumento na produção de sementes por

Tabela 1. Época de florescimento das espécies de eucalipto no Brasil.

Espécie	Período de florescimento
E. grandis	Fevereiro a Abril
E. saligna	Setembro a Novembro
E. dunnii	Fevereiro a Abril/ Setembro a Outubro
E. benthamii	Abril a Maio
E. badjensis	Fevereiro a Abril
C. citriodora	Março a Maio e Agosto a Outubro
E. urophylla	Ano todo
E. viminalis	Junho a Agosto

Fonte: Embrapa Florestas.

árvore e na relação quantidade de sementes por quantidade de frutos, demonstrando a vantagem do método sugerido. A coleta em compartimentos melhorou a qualidade dos lotes de sementes germináveis por quilograma, creditada à polinização cruzada mais efetiva na área, pela sincronização e aumento do florescimento (Zani Filho; Kageyama, 1984).

Coleta

A coleta deverá ser realizada antes que ocorra a dispersão das sementes pela abertura dos frutos, nos meses expressos na Tabela 2, escalando as árvores com auxílio de equipamento de segurança apropriado, por pessoal treinado e devidamente registrado no Registro Nacional de Sementes e Mudas (Renasem), para a prestação desse serviço altamente especializado. Essa coleta é a direta e, por isso, trabalhosa. O coletor deve escalar as árvores e alcançar os frutos que são geralmente produzidos em maior quantidade no topo e na ponta dos galhos laterais altos, e cortar os ramos com as cápsulas. A escalada é comumente feita com o auxílio de cordas, cinturões de segurança e esporas apropriadas. Para escalar as árvores, são também usadas escadas de alumínio. O uso adequado dos equipamentos e os cuidados com a segurança dos escaladores são fundamentais por ocasião da coleta. A atividade de escalar árvores-matrizes para a coleta das sementes é executada por empresas com pessoal e equipamentos especializados e com todos os requisitos de segurança que a atividade exige, conforme a Norma Regulamentadora nº 35, publicada pela Portaria SIT n.º 313, de 23 de março de 2012 (Brasil, 2012). A equipe de coleta de terra é composta de um técnico florestal e dois auxiliares. Normalmente, esta equipe manuseia os galhos coletados com os frutos de cada árvore-matriz, identificando-os corretamente para posterior extração das sementes e pré-acondicionamento adequado, até que sejam remetidos à Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS), quando esta é próxima ou no acampamento preparado para estas operações, nas coletas executadas em locais distantes da UBS. A equipe deve contar com um veículo tipo *pick-up* com cabine dupla e tração 4x4, pela necessidade de transporte do pessoal e dos equipamentos e materiais utilizados pela equipe de coleta, tais como capacetes, serras manuais, podões e tesouras de poda, foices, facões, e lima chata, sacos plásticos de diversos tamanhos, lonas plásticas, etiquetas de papelão, barbante e kit pronto socorro (Fowler, 2009).

A coleta pode ser efetuada quando o grau de umidade dos frutos for 50%, no máximo. O fruto é uma cápsula em forma de cálice que se abre em quatro ou seis partes e libera as sementes. Contudo, em muitas espécies de eucalipto, o fruto maduro permanece fechado na árvore, conservando as sementes por vários anos, portanto a coleta nesses casos pode ser em qualquer época do ano. Nos casos em que os frutos são deiscentes, deve-se observar as épocas específicas para cada espécie, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Frutificação das espécies de eucalipto cultivadas no Brasil.

Espécie	Frutificação
E. grandis	Setembro a Novembro
E. saligna	Maio a Julho
E. dunnii	Outubro a Dez.
E.benthamii	Outubro a Dezembro
E. badjensis	Novembro a Dezembro
C. citriodora	Janeiro a Maio
E. urophylla	Setembro a Dezembro
E. viminalis	Janeiro e Fevereiro

Fonte: Embrapa Florestas.

Cada espécie apresenta aspectos visuais particulares de frutos, constituindo-se indicadores importantíssimos que balizam o momento adequado para a coleta. No caso de *E. grandis*, a presença de fendas radiais, a coloração e o grau de umidade dos frutos são os principais indicadores. Portanto, os frutos com fendas e de qualquer coloração (verde, verde/marrom ou marrom) que apresentem entre 42% e 50% de umidade, são considerados maduros (Aguiar et al., 1987).

Manejo dos frutos e sementes após a coleta

Imediatamente após a coleta dos frutos, existe risco de danos às sementes, especialmente nos locais de estocagem provisória e transporte até a Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS). Os riscos principais são a perda da identidade de origem e da viabilidade das sementes. Com relação a insetos, a ameaça mais séria são as formigas carregadeiras de sementes já liberadas pelos frutos. O que é coletado, portanto, são os frutos, que submetidos à secagem natural liberaram as sementes. Esta operação ocorre no próprio local de coleta, assim os cuidados devem ser redobrados. Contudo, quando ocorre o transporte dos frutos coletados até a UBS, os cuidados devem ser focados na umidade que estes apresentam, devido aos riscos de aquecimento e perda da viabilidade das sementes. Salienta-se a importância da ventilação das sementes durante o transporte, evitando-se o uso de embalagens semipermeáveis e impermeáveis para frutos úmidos, pois, além das dificuldades de ventilação, estas favorecem a ocorrência de fungos. Sementes úmidas de *E. obliqua* perdem a viabilidade rapidamente quando expostas a temperatura de 55 ºC (Boland et al., 1980).

Extração das sementes dos frutos

O processo de extração de sementes de eucalipto pode ser considerado elementar, consistindo da secagem dos frutos que, abertos, liberam as sementes e partes florais inertes. A liberação das sementes das cápsulas depende da posição do ovário no interior do fruto, pois, em algumas espécies desse gênero, como *E. camaldulensis*, os ovários estão na parte superior do fruto e liberam as sementes mais facilmente do que outras como *E. delegantensis*, cujos ovários estão na parte inferior do fruto (Boland et al., 1980). A agitação manual é suficiente para extrair as sementes remanescentes dos frutos de algumas espécies. As cápsulas de eucalipto precisam ser vigorosamente

agitadas, particularmente se não estiverem totalmente maduras. A ausência da agitação vigorosa das cápsulas pode resultar em que apenas as partes florais sejam liberadas. As sementes férteis estão, geralmente, ligadas à placenta perto do fundo do lóculo, pois, após a dispersão do joio, cápsulas imaturas podem, num exame superficial, parecer que estão vazias.

Secagem dos frutos e sementes

O método de secagem natural dos frutos ao sol é eficaz para a liberação das sementes, desde que as condições climáticas locais sejam favoráveis. Um método prático para a secagem de grandes quantidades de frutos é colocá-los sobre uma armação com uma malha de arame, o que proporciona uma maior circulação de ar e, consequentemente, uma melhor secagem dos frutos, e sob essa armação um anteparo para receber as sementes liberadas (Figura 1).

Foto: João Antonio Pereira Fowler

Figura 1. Estrutura para secagem natural de frutos.

Os frutos geralmente abrem em três dias (Cavalcanti; Gurgel, 1973). A taxa de liberação de semente durante a secagem natural é variável de acordo com as características de cada espécie, estádio de maturação da cápsula e condições de secagem.

As cápsulas muito maduras de algumas espécies podem liberar as sementes em algumas horas em condições ótimas de secagem, mas, em condições normais, a maioria das espécies necessita de 3 a 4 dias. Apesar da secagem ao sol levar a uma rápida abertura das cápsulas, existe o risco, no caso de temperatura muito alta, de indução à dormência tegumentar e, em casos extremos, pode ocorrer dano aos embriões das sementes (Turnbull, 1975). Outro método empregado é o da secagem artifi cial, que utiliza uma fonte que produz calor acoplado a um ventilador. O ar aquecido é forçado através da massa de frutos ou sementes a serem secados.

Normalmente, para o caso dos frutos e sementes de eucalipto, utilizam-se estufas para secagem de pequenos lotes, composta de uma câmara grande, prateleiras e capacidade estática com períodos de tempo de secagem variáveis e temperatura regulável (Cavalcanti; Gurgel, 1973).

A secagem pode predispor as sementes a danos. Os principais fatores envolvidos são a temperatura e o tempo de exposição. No processo de secagem, ocorre inicialmente a transferência da umidade da superfície para o ar que circunda a semente e, posteriormente, o deslocamento da umidade do interior para sua superfície.

Para a maioria das sementes ortodoxas, inclusive as do gênero *Eucalyptus*, quando o grau de umidade está acima de 18%, a temperatura de secagem deve ser 32 ºC e, quando o grau de umidade estiver abaixo de 10%, a temperatura máxima de secagem deve ser 43 ºC. As sementes úmidas são mais sensíveis a esses danos, devendo-se observar que, quanto maior o grau de umidade inicial das sementes, menor deve ser a temperatura inicial de secagem. Assim, deve-se iniciar a secagem de sementes mais úmidas com temperatura de 30 ºC e progressivamente elevá-la até um máximo de 48 ºC.

Beneficiamento dos lotes de sementes

Peneiragem

O tamanho é uma das características de diferenciação mais comuns entre sementes e impurezas que é utilizada na limpeza e classificação. A peneira é o principal equipamento que utiliza o tamanho da semente como base de separação. A separação de impurezas das sementes ocorre quando o material mais leve é removido da massa das sementes, pois essas deslizam sobre os orifícios da peneira, enquanto as partículas menores, impurezas, são eliminadas.

Este método é o mais eficaz para a maioria das espécies de eucaliptos. Normalmente, é o único método disponível para a pré-limpeza no campo. As peneiras são fornecidas em vários tamanhos e aberturas em chapa perfurada ou arame trançado. Para pequenos lotes de sementes, peneiras de laboratório com 20 cm de diâmetro e uma grande variedade de tamanhos de malhas são normalmente usadas, enquanto peneiras grandes (50 cm a 80 cm de diâmetro) são preferidas para lotes grandes, especialmente durante os estágios iniciais de limpeza. As malhas de uso comum variam de 500 mícron a 4 mm para os eucaliptos (Tabela 3). Uma combinação de uma peneira de malha grande e pequena podem ser eficazes para a remoção de partículas grandes e pequenas, podendo ser usado para sementes finas, incluindo *E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla* nas condições de campo e para pequenos lotes de sementes.

Tabela 3. Peneiras adequadas para a limpeza das sementes de eucalipto.

Especie	Malha de abertura (mm)
C.citriodora[1]	2.8-3.35
C. maculata[1]	2.8-3.35
C. torelliana	2.0-2.36
E. camaldulensis	1,2
E. globulus	2,36-2,8
E. grandis	1,2
E. microtheca	1,7
E. nitens	1,7
E. obliqua	1,7
E. pellita	1.4-1.7
E. pilularis	1.7-2.0
E. regnans	1.4-1.7
E. saligna	1
E. tereticornis	1.0-1.2
E. viminalis	1.4-1.7

[1] Alternativamente ventilador de ar ou mesa de gravidade.

Fonte: Gunn (2001).

As peneiras usadas para o beneficiamento de lotes de sementes de eucalipto variam conforme especificado na Tabela 3.

Muitas vezes, o material inerte é semelhante a semente em tamanho e forma, inviabilizando uma separação eficiente por diferença de tamanho, ou seja, por meio de peneira.

As indicações de que deve haver classificação das sementes de eucalipto em um lote são confirmadas por Aguiar e Mardegan (1987), em trabalho realizado com lote de sementes de *E.saligna*, que apresentava diferentes classes de tamanho de sementes, onde constataram que as classes menores que 0,59 mm podem ser descartadas, por serem acompanhadas de muitas impurezas e por representarem apenas 10% das sementes férteis. A porção utilizável do lote de melhor qualidade fisiológica é dividida em duas partes, a primeira, correspondente a 20% do peso do lote de sementes com 0,60 mm a 0,71 mm que contém 40% das sementes férteis, e a segunda correspondente a 12% do peso do lote de sementes maiores que 0,71 mm que contém 50% das sementes férteis. Outra constatação feita com sementes de *E. grandis* e *E. urophylla* demonstrou que a germinação não foi afetada pelo tamanho das mesmas, contudo, sementes médias e grandes apresentaram maior vigor do que as pequenas (Aguiar et al., 1979). O equipamento utilizado foi a máquina de ar e peneiras (Figura 2).

Saloio et al. (2015) constataram que, com o beneficiamento das sementes de *E.cloeziana* em peneiras com orifícios quadrados de 1,7 mm; 1,4 mm; 1,18 mm; 1,0 mm; 0,8 mm e 0,7 mm, realizado no laboratório de análise de sementes da Embrapa Florestas, aquelas retidas nas peneiras 1,7 mm; 1,4 mm e 1,18 mm apresentaram a germinação acima do padrão exigido, ou seja 100.000 plântulas por quilograma, e que aquelas retidas na peneira 1,7 mm mostraram, maior vigor pelo teste de índice de velocidade de germinação (IVG) (Maguire, 1962), demonstrando a importância do beneficiamento do lote de sementes na qualidade física e também fisiológica das sementes dessa espécie.

Foto: João Antonio Pereira Fowler

Figura 2. Máquina de ar e peneira para beneficiamento de sementes.

Limpeza a vácuo

Esse procedimento utiliza correntes de ar para separar as sementes das impurezas pelas diferenças de peso, resistência ao fluxo de ar e velocidade com que o ar se move. É útil para separação das partes florais das sementes de eucalipto como alternativa à peneiragem, sendo eficiente em separar impurezas leves do lote de sementes.

Embebição das sementes e separação por densidade

Os viveiros que produzem grandes quantidades de mudas de eucalipto seminais, frequentemente usam semeadores automáticos do tipo vácuo em recipientes individuais. Para ser eficaz, é importante que o lote de semente apresente alta pureza física para garantir a eficiência do equipamento. Onde há uma grande diferença de tamanho entre a semente e as impurezas, como no caso de *E. globulus*, métodos convencionais como técnicas de peneiração e aspiração podem ser facilmente empregados. No entanto, para espécies em que é difícil separar a semente das partes florais, são necessárias uma combinação de técnicas, incluindo a separação por gravidade, aspiração e peneiras.

Cliffe (1997) descreveu uma técnica para a separação otimizada de sementes de eucaliptos das partes florais, que tem sido prática comum em vários países. Embeber as sementes e, em seguida, separar por diferença de densidade. As sementes são colocadas em camada fina sobre bandejas recobertas com gaze, em seguida as bandejas são colocadas em incubadora com temperatura ajustada ao valor ótimo para a germinação das sementes de cada espécie (20 25 ºC).

As sementes são mantidas constantemente úmidas pelo sistema de nebulização intermitente. No caso de *E. pilularis*, isso leva cerca de 40 horas. Nesta fase, a testa da semente começa a se tornar translúcida, indicando que a semente está embebendo e

deve ser removida para evitar o surgimento de radículas. A semente é então colocada em uma solução de açúcar que varia de acordo com a espécie e a estrutura da semente. No caso de *E. pilularis,* um kg de açúcar é diluído em um litro de água (Cliffe, 1997). Em seguida, agita-se suavemente a solução e a semente embebida separa-se das impurezas.

A semente limpa é removida e lavada antes do armazenamento ou secagem. As sementes de *E. pilularis* embebidas se mantém viáveis por até cinco dias em recipientes com água selados em geladeira, na temperatura de 3 ºC a 5 ºC.

As sementes de eucalipto são comercializadas no Brasil com pureza física em torno de 10%, sendo os 90% restantes constituídos de óvulos não fertilizados. Algumas sementes de espécies de eucalipto podem ser encontradas no comércio com índices de pureza física maiores, em razão de que as impurezas diferem em tamanho das sementes, o que facilita a separação em peneira.

Contudo, ainda que as impurezas sejam do mesmo tamanho que as sementes, é viável separá-las por diferença de peso na mesa de gravidade (Welch, 1973). As sementes de *E. globulus* e *Corymbia maculata* podem apresentar índices maiores de pureza física, pois as partes florais diferem em tamanho das sementes, por isso pode-se encontrar no comércio lotes de sementes dessas espécies com até 80% de pureza. Como as sementes são comercializadas em função do número de sementes germináveis por peso, é fundamental saber com exatidão a quantidade de impurezas de um lote de sementes, no momento da aquisição. Os produtores de sementes florestais brasileiros, em sua maioria, não usam equipamentos para o beneficiamento das sementes, contudo a organização do setor favorecerá a expansão da atividade e seu aprimoramento técnico.

O beneficiamento do lote de sementes em mesa de gravidade (Figura 3) não é uma regra geral, pois a efi ciência desse equipamento difere entre espécies. Vale ressaltar que a eficiência da operação de beneficiamento do lote na mesa de gravidade depende de previo beneficiamento do mesmo em máquina de peneiras. Após a remoção das

Foto: João Antonio Pereira Fowler

Figura 3. Mesa de gravidade para beneficiamento de sementes

sementes de peso diferente do lote, basicamente chochas e mal formadas, as taxas de germinação serão maiores do que aquelas obtidas antes da estratificação do lote por peso. Martins et al. (1994), em trabalho de beneficiamento de sementes de *Mimosa scabrella* Benth., usando mesa de gravidade, constataram que as sementes apresentaram taxas de germinação até 50% maiores antes dessa operação.

Peletização de sementes

Os eucaliptos possuem sementes pequenas, em média 0,5 mm, o que dificulta a semeadura. Em viveiros comerciais, quando as sementes não são peletizadas e com operação manual, são semeadas, geralmente, cerca de cinco sementes por recipiente, sendo necessário o raleio após a germinação. A peletização é um processo de recobrimento de sementes, com o objetivo de facilitar seu manejo pela homogeneização física do lote. O processo consiste de um equipamento vibrátil que executa movimentos circulares conjugado com a aplicação intercalada do adesivo e fertilizante que aderem às sementes e promovem a formação do ”pellet”. É importante ressaltar que a peletização das sementes somente é executada quando o lote apresenta altos índices de pureza física, condição necessária à eficiência do processo. As sementes peletizadas oferecem uma série de facilidades, como a redução de custo expressivo na produção de mudas. A semeadura e a classificação das mudas por tamanho são exemplos de operações facilitadas. Outro fator importante é a eliminação do raleio de plântulas em viveiro, uma vez que é semeada apenas uma semente por embalagem (Kanashiro et al., 1978).

Conservação das sementes em armazenamento

Normalmente, nem todos os lotes de sementes são utilizados imediatamente após a coleta e, por isso, são armazenados para utilização nos anos seguintes, uma vez que as coletas de sementes em arvores-matrizes do gênero *Eucalyptus* são feitas pela poda dos galhos localizados normalmente no topo dessas árvores, o que requer um período de tempo para que as mesmas emitam novos brotos com frutos, o que inviabiliza as coletas nos dois anos sequentes.

Devido a isto, existe a necessidade de se manter a viabilidade das sementes armazenadas, minimizando-se a velocidade de deterioração, por meio de tecnologias desenvolvidas e apropriadas a cada espécie.

A taxa de envelhecimento varia significativamente entre as sementes de um lote, sendo a germinação avaliada com base na amostra representativa do lote.

Longevidade e deterioração

A longevidade é definida como o intervalo de tempo no qual a semente se mantém viável, variando entre as espécies, e fortemente afetada pelas condições ambientais. Consideram-se, para fins dessa classificação, sementes recém-colhidas. que são classificadas como microbióticas, cuja longevidade pode chegar até três anos, mesobióticas (até 15 anos) e macrobióticas (superior a 15 anos) como é o caso das sementes de eucalipto. As boas condições de armazenamento não são as mesmas para as diferentes espécies. Em função disso, a classificação fisiológica das sementes de eucalipto é ortodoxa, que toleram a secagem sob umidade abaixo de 5% (base seca) e, por isso, podem ser armazenadas com sucesso sob baixas temperaturas e por longos períodos.

O processo de deterioração é a soma de todas as alterações físicas, fisiológicas, químicas e bioquímicas que ocorrem nas sementes, conduzindo-as à perda total do vigor a da viabilidade.

Testes efetuados na Austrália indicam que a manutenção da viabilidade das sementes armazenadas sob condições adequadas, para a maioria das espécies de eucalipto, pode ser alcançada com grau de umidade entre 4% e 8%. Quando as sementes não são armazenadas em recipientes impermeáveis, é aconselhável manter uma umidade relativa do ar no ambiente de armazenamento entre 20% e 40% (Suiter Filho; Lisbão Junior, 1973). Entre os vários testes realizados, podem-se citar as diferenças significativas na germinação de sementes de *E.camaldulensis* e *E.tereticornis,* armazenadas por dois anos, com grau de umidade de 2,5%, 5,5% e 8,5%, concluindo que as melhores condições para a conservação das sementes dessas espécies foram aquelas com umidade de 2,5%.

Fatores que afetam a longevidade

As adversidades sofridas durante o período que vai da fertilização do óvulo até a coleta das sementes podem predispô-las à deterioração mais rápida. Estas são a falta ou excesso de chuvas, temperaturas extremas e ataque de pragas e doenças aos frutos.

As sementes e ou frutos coletados imaturos ou no solo geralmente apresentam germinação e vigor baixos, enquanto que as sementes maduras de uma mesma espécie mantêm a germinação e vigor por mais tempo sob armazenamento adequado. Nas sementes ortodoxas, como é o caso das sementes de eucalipto, o grau de umidade é um dos fatores mais importantes para a manutenção da viabilidade, ao longo do tempo. A redução do grau de umidade da semente causa diminuição da atividade metabólica, o que prolonga sua viabilidade.

Em um lote de *C. citriodora* foi constatado que as sementes maiores que 1,41 mm apresentaram maior potencial de armazenamento, podendo-se recomendar para

longo período de armazenamento, que os lotes sejam classificados e que as sementes menores que 1,41 mm sejam armazenadas separadamente das demais, ou que sejam separadas antes da semeadura, caso o lote tenha sido armazenado sem classificação (Aguiar et al., 1987).

Umidade

A germinação das sementes é altamente influenciada pelas condições de temperatura e umidade que, quando elevadas, aumentam sua atividade metabólica. A redução da umidade relativa do ar e da temperatura do ambiente de armazenamento favorecem a conservação das sementes ortodoxas, entre elas as dos eucaliptos, pela redução de sua atividade metabólica. A capacidade de absorção de umidade pelas sementes varia de acordo com a composição química, a natureza e a espessura do tegumento (Willan, 1985). Para sementes ortodoxas, quando o grau de umidade está entre 5% e 14%, a longevidade da semente dobra para cada 1% de redução do grau de umidade e para cada 5 ºC de redução da temperatura, dentro do ambiente de armazenamento.

Temperatura

Quanto mais baixa a temperatura do ambiente de armazenamento, tanto melhor será a conservação das sementes ortodoxas. As temperaturas entre zero e -18 ºC são recomendadas para a conservação de sementes, por longos períodos de tempo, como é o caso dos Bancos Ativos de Germoplasma (BAG).

Oxigênio

O oxigênio é danoso por ser um elemento oxidante, estando sua presença diretamente relacionada com a deterioração dos tecidos. Seus efeitos danosos, também, ocorrem quando a quantidade é pequena, se as sementes estiverem armazenadas sob condições de temperatura e de umidade altas. Em contraposição, a atmosfera rica em gás carbônico é benéfica, tanto que as sementes embaladas hermeticamente são beneficiadas, pois, como a quantidade de oxigênio é limitada dentro da embalagem, as sementes vão consumindo-o e liberando gás carbônico, o que favorece a sua conservação.

Luz

As radiações ionizantes são mencionadas como fator de influência na longevidade das sementes, na natureza. As sementes ortodoxas clássicas, que toleram secagem, aparentemente não são influenciadas, contudo, para as fotoblásticas positivas, o armazenamento no escuro pode prevenir a germinação sob condições de alta umidade.

Embalagens

Existem três tipos de embalagens para acondicionar sementes, classificadas de acordo com as trocas de vapor d'água com o ambiente.

A embalagem permeável, que permite trocas de umidade entre as sementes e o ar exterior, utilizada para armazenamento por período curto de tempo, normalmente entre a coleta e a semeadura. Uma característica importante deste tipo de embalagem é que o grau de umidade das sementes varia de acordo com a umidade relativa do ar ambiente. São produzidas em papel, algodão e juta.

Embalagem semipermeável não impede completamente as variações de umidade entre as sementes e o ambiente. O acondicionamento neste tipo de embalagem necessita que o grau de umidade da semente seja 3% inferior àquele recomendado para as sementes acondicionadas em embalagem permeável, não se recomendando sua utilização para acondicionar sementes por períodos longos. São produzidas em polietileno e papel revestido com alumínio.

Embalagem impermeável não permite troca de umidade entre a semente e o ambiente, não ocorrendo variações de umidade, aumentando com isso a longevidade das sementes ortodoxas acondicionadas nestas. São produzidas em alumínio (envelopes), latas, vidros com tampa vedável e envelopes de alumínio revestidos com polietileno.

Condições adequadas de armazenamento

O objetivo do armazenamento de sementes é manter a germinação e o vigor. A duração do período de armazenamento depende de planejamento do uso futuro das sementes. Segundo Bonner (1981), período curto de armazenamento é normalmente até seis meses, período médio é de até cinco anos, e período longo mais do que cinco anos, que é utilizado nos bancos de germoplasma (Figura 4).

Foto: João Antonio Pereira Fowler

Figura 4. Banco de germoplasma da Embrapa Florestas.

As sementes maduras de todas as espécies do gênero *Eucalyptus* podem ser mantidas de 5 a 20 anos em ambiente de baixa umidade e temperatura variando de 3 ºC a 5 ºC, em recipiente impermeável. A maioria das espécies desse gênero pode ser armazenada por 10 anos sob temperatura ambiente, com alguma perda de viabilidade (Boland, 1985). Contudo, sementes de *E. deglupta* e *E. microtheca* têm curta viabilidade em condição ambiente e precisam ser armazenadas sob baixas temperaturas (3-5 °C) para manterem a viabilidade por mais de dois anos.

No banco de germoplasma de eucalipto da Embrapa Florestas, a temperatura é de -10 °C, garantindo a qualidade fisiológica dos lotes armazenados nessa condição.

Referências

AGUIAR, I. B.; CARVALHO, N. M.; MAIMONI-RODELLA, R. C. S.; DAMASCENO, M. C. M. Influência do tamanho sobre a germinação e o vigor de sementes de eucalipto. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 1, n. 1, p. 53-58, 1979.

AGUIAR, I. B.; MARDEGAN, A. G. Beneficiamento de sementes de *Eucalyptus saligna* sm. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 9, n. 2, p. 9-17, 1987.

AGUIAR, I. B.; SADER, R.; KRONKA, S. N.; TAKAOKA, N. M. Efeitos do tamanho sobre o potencial de armazenamento de sementes de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 9, n. 1, p. 63-72, 1987.

ARAÚJO, J.; RAMOS, A.; LEMOS, L. ALMEIDA, M. H. Aplicação de paclobutrazol num pomar de sementes de *Eucalyptus globulus* Labill. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL: os recursos florestais no desenvolvimento rural, 3. **Actas** [...]. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais, 1995. v. 1, p. 373-378.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; TURNBULL, K. D. A. ***Eucalyptus* seed**. Camberra: Division of Forestry Research, CSIRO, 1980.

BOLAND, D. J. Testing and storage of *Eucalyptus* and acacia seed. In: PROCEEDINGS of workshop on seed handling and Eucalypt taxonomy. Harare: Zimbabwe Forestry Commission, 1985.

BONNER, F. T. Storage principles for tropical tree seed. In: REUNION SOBREPROBLEMAS EN SEMILLAS FORESTALES TROPICALES, 1., 1980. San Felipe, Bacalar. **Memória**. México: INIF, 1981. p. 213-221.

BRASIL. **Decreto nº 5.153 em 23 de julho de 2004**. Aprova o Regulamento da Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas - SNSM, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5153.htm. Acesso em: 16 jan. 2020.

BRASIL. **Lei nº 10.711 em 5 de agosto de 2003**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2003/L10.711.htm. Acesso em: 16 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 17, de 26 de abril de 2017**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/INN17de28042017comANEXOS.pdf. Acesso em: 16 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 56, de 8 de dezembro de 2011**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/INN56de8dedezembrode2011.pdf. Acesso em: 16 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de fiscalização de insumos agrícolas. Coordenação de sementes e mudas. **Registro nacional de cultivares - RNC**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br. Acesso em: 20 dez. 2010.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Portaria nº 313, de 23 de março de 2012. Aprova a Norma Regulamentadora nº 35. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 60, 27 mar. 2012.

BRUNE, A. **Implantação de populações bases de espécies florestais**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. 9 p. (EMBRAPA-URPFCS Documentos, 1). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/291023.

CAVALCANTI, G. R. A.; GURGEL, J. T. A. Eucalyptus seed production in Brasil. In: PROCEEDINGS... Bergen: IUFRO Wkg Group on Seed Problems, 1973.18 p.

ELDRIDGE, K. G. Genetic improvement of Eucalypts. **Silvae Genetica**, n. 27, v. 5, 1978.

FOREST COMMISSION. **Seed manual**: procedures for seed collection, handling, storage, purchase and accounting. Hobart, 1994.

FOWLER, J. A. P. Coleta e manejo de sementes florestais. In: RESENDE, A. S. de; CURCIO, G. R.; BONNET, A. (org.). **Produção de mudas espécies arbóreas nativas e suas relações ambientais no "Corredor Ecológico COMPERJ"**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. p. 30-53.

GUNN, B. Australian tree seed centre. **Operation manual**. Camberra: ATSC, CSIRO, 2001. 150 p.

HOPPE, J. M. **Produção de sementes e mudas florestais**. 2. ed. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. (Caderno didático, 1).

KANASHIRO, M.; KAGEYAMA. P. Y.; MÁRQUEZ, F. C. M. Peletização de sementes de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, n.17, p. 67-73, 1978.

KRUGMAN, S. L.; JENKINSON, J. L. Pinus L. Pine. In: SHOPMEYER, C. S. (ed.). **Seeds of woody plants in the United States**. Washington, DC: U. S. Dept. of Agriculture, 1974. p. 5-40. (Agricultural Handbook, 450).

MAGUIRE, J. D. Speed of germination and in selection and evaluation for seedlings emergence and vigor. **Crop Science, Madison**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARTINS, E. G.; BIANCHETTI, A.; RAMOS, A. **Rendimento no beneficiamento de lotes de sementes de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) e bracatinga argentina (*Mimosa scabrella* Var. aspericarpa) em mesa de gravidade**. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. 12 p. (EMBRAPA-CNPF. Circular técnica, 21). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/290747.

PELLATI, E. V. Evolution and importance of land races in breeding. In: WORLD CONSULATION ON FOREST TREE BREEDING, 2., Washington, 1969. **Proceedings** [...]. Rome: FAO, 1969. (FAO-FTB-69-10/5).

SALOIO, N. R.; TOMASCHITZ, A.; VIEIRA, E. S. N. Beneficiamento de sementes de *E. cloeziana*. **Informativo Abrates**, v. 25, n. 2, 2015. Edição de resumos do 19º Congresso Brasileiro de Sementes, Foz do Iguaçu, 2015.

SCHMIDT, L. **Guide to handling of tropical and subtropical forest seed**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 2000. 511 p.

SUITER FILHO, W.; LISBÃO JUNIOR, L. Influência da umidade relativa nas características umidade, germinação, vigor e peso especifico de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, n. 6, p. 39-54, 1973.

TURNBULL, J. W. The handling and storage of eucalypt seed. In: TRAINING course on forest seed collection and handling. Rome: FAO; Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 1975. v. 2. p. 101-122.

WELCH, C. B. **Beneficiamento de sementes no Brasil**. Brasília, DF: AGIPLAN, 1973. 205 p.

WILLAN, R. L. **A guide to forest seed handling**: with special reference to tropics. Rome: FAO, 1985. 379 p. (FAO. Forestry paper, 20/2).

WEULE, G. Eucalypts: 10 things you may not know about an iconic Australian. **ABC Science**, 27 jan. 2018. Disponível em: https://www.abc.net.au/news/science/2018-01-26/eucalyptus-trees-an-iconic-australian/9330782. Acesso em: 30 jan. 2019.

ZANI FILHO, J.; KAGEYAMA, P. Y. A produção de sementes melhoradas de espécies florestais, com ênfase em *Eucalyptus*. **IPEF**, n. 27, p. 49-52, 1984.

22

Produção de mudas de eucalipto

Ivar Wendling
Leonardo Ferreira Dutra
Mônica Moreno Gabira
Leandro Marcolino Vieira
Juliana Degenhardt

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

A área de cultivo com espécies do gênero *Eucalyptus* no Brasil tem sido crescente a cada ano e, para o estabelecimento de plantações florestais, a utilização de mudas de qualidade é um dos aspectos mais importantes para garantir o sucesso do empreendimento. Assim, é necessário, cada vez mais, produzir mudas com características para resistir às condições adversas encontradas nas áreas dos reflorestamentos, com crescimento satisfatório. Mudas de melhor padrão de qualidade apresentam maior sobrevivência no plantio, além de apresentar melhor desenvolvimento, diminuindo a frequência dos tratos culturais de manutenção e garantindo um produto final de boa qualidade e com menor custo.

Diversos estudos sobre produção de mudas de espécies de eucaliptos foram realizados pela Embrapa, desde a sua criação em 1973, cujos resultados têm sido disponibilizados por meio de publicações técnico-científicas aos diversos públicos interessados no tema. Além disso, uma série de ações de comunicação e transferência das tecnologias desenvolvidas por meio de cursos, dias de campo, palestras, matérias jornalísticas, artigos na mídia, orientações de graduação e pós-graduação, organização de eventos técnico-científicos e contribuíram significativamente ao setor de produção, desde viveiros pequenos até aqueles verticalizados de empresas florestais de maior porte.

A pesquisa florestal na Embrapa foi iniciada com o estabelecimento do Programa Nacional de Pesquisa Florestal (PNPF), como resultado de um convênio firmado entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (Ibama) (ex-Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, IBDF/MA) e a Embrapa, em 1977. Por meio deste programa, foi delegada à Embrapa a responsabilidade de coordenar, executar e apoiar a execução da pesquisa florestal brasileira. Considerando-se as diretrizes governamentais, "Propagação de Plantas e Viveiros" foi uma das principais linhas de pesquisa desenvolvidas pelo PNPF, com 16 grandes projetos conduzidos durante este programa, em que parte significativa das atividades desenvolvidas foi na área de sementes e produção de mudas de espécies de eucaliptos (Pinto Júnior; Ferreira, 2008).

Este capítulo reúne de forma sintética as principais pesquisas realizadas e tecnologias geradas para a produção de mudas de eucaliptos pela Embrapa, juntamente com seus parceiros, durante os 40 anos de sua existência. Apresenta também as principais publicações sobre o tema disponibilizadas no período, na forma de artigos técnico-científicos, livros e outros materiais de divulgação, bem como os treinamentos técnicos efetuados.

Pesquisas realizadas com produção de mudas de espécies de eucaliptos

Durante os 40 anos de pesquisa florestal na Embrapa, foram realizados inúmeros estudos visando ao desenvolvimento de produtos, processos, tecnologias e metodologias relacionadas à produção de mudas de eucaliptos. Durante este período foram publicados inúmeros artigos científicos, juntamente com uma série de parceiros nacionais e internacionais. Em um dos primeiros estudos publicados, Souza et al. (1981) afirmaram que, por se tratar de espécies florestais mais plantadas no Brasil, a produção de mudas é uma fase que requer atenção e cuidados imprescindíveis.

Diversos tipos de publicações na forma de cartilhas, livros, capítulos de livro e artigos de revisão que abordam etapas, procedimentos, aspectos tecnológicos e financeiros gerais e específicos da produção de mudas de eucaliptos foram produzidos pela Embrapa e seus parceiros. Dentre eles destacam-se Souza et al. (1981), Sturion (1981), Guimarães (1997), Fowler (2000), Fowler e Bianchetti (2000), Graça e Tavares (2000), Graça (2000), Sturion (2000), Sturion et al. (2000), Sturion e Antunes (2000), Tavares e Graça (2000), Wendling e Xavier (2001), Wendling et al. (2002, 2006), Moura e Guimarães (2003), Dutra et al. (2009), Xavier et al. (2009, 2013), Dutra e Wendling (2010), Ferriani et al. (2010), Wendling e Dutra (2010a, 2010b, 2010c, 2017a, 2017b), Caldeira et al. (2011a, 2011b, 2015), Dias et al. (2012), Santarosa et al. (2014), Wendling et al. (2014a, 2014b). Adiante são listados, de forma suscinta, os principais tópicos e resultados relacionados à produção de mudas de eucaliptos abordados nessas publicações.

Nutrição e adubação de mudas

Considerando a importância da nutrição mineral de espécies florestais, vários estudos relacionados com nutrição de mudas foram desenvolvidos. Nestes estudos foram avaliadas e desenvolvidas diferentes recomendações de adubação de base e de cobertura para produção de mudas de eucaliptos via semente e propagação vegetativa.

Silveira et al. (2004) avaliaram o crescimento e sobrevivência de mudas de eucalipto sob doses de boro (0; 0,325; 1,3; 5,2 e 20,8 mg L^{-1}) cultivadas em condições de viveiro e de campo. Os autores constataram que mudas de *E. saligna* e *E. grandis*, com até 266 dias de idade, cultivadas com doses iguais ou superiores a 5,2 mg L^{-1} apresentaram redução significativa no crescimento em altura e no diâmetro do caule. Verificaram também que a aplicação de até 20,8 mg L^{-1} não afetou o pegamento e sobrevivência das mudas dessas espécies. Já no estágio de viveiro, *E. saligna* foi mais sensível à fitotoxidez de boro que *E. grandis*.

Teixeira et al. (2008) verificaram a influência da adubação potássica e do potencial hídrico do solo na produção de matéria seca e relações hídricas de mudas

de *Eucalyptus* sp. Concluíram que a aplicação de K influenciou nas trocas gasosas das mudas, aumentando a assimilação de C e reduzindo a condutância estomática e a taxa de transpiração e, como consequência, aumentando a eficiência de uso da água. O déficit hídrico não promoveu diferenças significativas nas trocas gasosas, mas, em geral, as plantas submetidas a este tratamento apresentaram menor consumo de água.

Accioly et al. (2009) avaliaram a aplicação de silicato de cálcio como agente amenizante da toxidez de zinco e cádmio em mudas de *E. camaldulensis* e diminuição dos teores destes metais na parte aérea das plantas. Verificaram que o efeito amenizante do silicato de cálcio, relacionado à redução da transferência dos metais pesados do solo para a parte aérea do eucalipto foi mais acentuado para o zinco. Bognola et al. (2011) avaliaram o efeito da aplicação de silicatos de cálcio e de potássio no substrato utilizado para o crescimento de mudas de *E. grandis*. Os autores concluíram que a aplicação de silicatos em substratos para produção de mudas da espécie foi inadequada quando o substrato utilizado apresentou proporção equilibrada em termos de nutrientes e pH.

Rosa (2006) e Rosa et al. (2009), ao avaliarem a influência de diferentes doses de nitrogênio na miniestaquia de *E. dunnii*, observaram produtividade crescente de miniestacas associadas ao aumento da concentração de N, evidenciando a influência da adubação nitrogenada. Em outro estudo, Rosa et al. (2007) recomendaram que, para favorecer a produção de biomassa em minicepas de *E. dunnii,* deve-se priorizar a utilização de amônio (NH_4^+), isoladamente ou acrescido de nitrato (NO_3^-) na fertirrigação das minicepas. Já em relação às doses de N, o tratamento superior (0,6 g L^{-1}) foi o mais indicado no manejo do minijardim clonal.

Magalhães et al. (2017) avaliaram a eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados (misturas contendo superfosfato triplo, fosfato natural reativo de Bayovar, conteúdo ruminal de bovinos de corte, biochar e cama de aviário) sobre o crescimento inicial de mudas do híbrido "urograndis", *E. urophylla* x *E. grandis* (clone I144). O fosfato reativo de Bayovar misturado ao conteúdo ruminal de bovinos de corte proporcionou crescimento das mudas similar ao tratamento controle, podendo ser uma alternativa para a produção de eucalipto. O fertilizante composto de superfosfato triplo, biochar e cama de aviário não foi eficiente para o crescimento inicial das mudas.

Avaliando doses de fertilizante de liberação lenta (FLL) Basacote® Mini 6M 13-6-16 + micronutrientes e fertilizante convencional NPK 5-20-10 na qualidade de mudas (altura total, diâmetro do colo, biomassa fresca da parte aérea, biomassa seca da parte aérea, biomassa seca da raiz e biomassa seca total) de *E. grandis*, Rossa et al. (2015) concluíram que a utilização do FLL promoveu melhores padrões de qualidade das mudas, quando comparado com o fertilizante convencional. Melhores padrões de mudas foram verificados nas doses entre 9,1 kg e 12,9 kg de FLL m^{-3} de substrato, tendo a concentração de nutrientes a seguinte ordem N>K>Ca>Mg>P>Mn>Zn>Fe>Cu.

Considerando a importância da nutrição mineral mediante a utilização de silício, que proporciona maior resistência da planta à ação de fungos e insetos, Queiroz et al. (2018) avaliaram a sua absorção e translocação em mudas de *E. camaldulensis*. Concluíram que a espécie foi capaz de absorver e translocar silício 60 dias após a aplicação de adubo silicatado e nas maiores dosagens de ambas as fontes de Si usadas. Concluíram também que a translocação do silício em plantas de *E. camaldulensis* foi maior aos 60 dias após a aplicação de diferentes fontes de Si, a fonte de silício que resultou em maiores teores deste elemento na parte aérea e raízes foi o silicato de potássio aplicado via foliar, na maior dose avaliada (10 mL L^{-1}) e que o eucalipto não é uma espécie acumuladora de silício.

Wendling e Dutra (2017a, 2017b) forneceram uma série de recomendações de adubação para produção de mudas de eucalipto, tanto por via seminal como propagação vegetativa. Os autores ressaltaram que os exemplos de adubações apresentados apenas ilustram algumas possibilidades, devendo ser adaptados de acordo com as necessidades e especificidades de cada viveiro. No que se refere à adubação de base, para cada m^3 de substrato, as seguintes recomendações são citadas:

- Substratos contendo adubação de base (substratos comerciais): superfosfato simples (3.000 g); cloreto de potássio (150 g); FTE® BR 9 ou BR 12 (1.000 g).
- Substratos sem adubação de base (substratos formulados no viveiro): superfosfato simples (4.000 g); cloreto de potássio (200 g); FTE® BR 9 ou BR 12 (1.500 g).

Em termos de adubação de cobertura, Wendling e Dutra (2017a, 2017b) sugeriram que sejam diferenciadas para cada fase de produção (adubação de arranque, de crescimento e de rustificação), para propagação sexuada e vegetativa:

- Adubação de arranque (primeira à terceira semana após a fase de germinação, em mudas produzidas por sementes ou fase de aclimatação em casa de sombra, no caso da propagação vegetativa): sulfato de amônio (0,3 g por L de água); superfosfato simples (4,6 g por L de água); cloreto de potássio (2,1 g por L de água); FTE® BR 10 ou BR 12 (0,5 g por L de água).

Os adubos deverão ser solubilizados em água, aplicando-se 3 L dessa solução para cada 1.000 mudas, com seis a oito aplicações intercaladas a cada 3 dias para mudas de sementes e uma a duas por semana para mudas de propagação vegetativa.

- Adubação de crescimento (iniciada após a adubação de arranque para propagação sexuada e na fase de crescimento das mudas por propagação vegetativa, em condições de pleno sol): ureia (8 g por L de água); Yoorim MG ou superfosfato simples (6 g por L de água); cloreto de potássio (6 g por L de água para mudas de sementes

e 2,1 g por L de água para mudas de propagação vegetativa); FTE® BR 10 ou BR 12 (0,5 g por L de água).

Os adubos deverão ser solubilizados em água, aplicando-se 3 L dessa solução em 1.000 tubetes (5 a 20 aplicações intercaladas a cada 3 ou 4 dias para mudas de sementes e uma a duas por semana para mudas de propagação vegetativa).

- Adubação de rustificação (iniciada antes das mudas irem para plantio definitivo): sulfato de amônio (5 g por L de água); superfosfato simples ou Yoorin MG (10 g por L de água); cloreto de potássio (4 g por L de água); FTE® BR 10 ou BR 12 (0,5 g por L de água).

Os adubos deverão ser dissolvidos em água, aplicando-se 3 L dessa solução para cada 1.000 mudas (aplicações intercaladas a cada 3 ou 4 dias para mudas de sementes e 3 a 5 dias para mudas de propagação vegetativa).

Wendling e Dutra (2017a, 2017b) também recomendaram, como alternativa eficiente, a utilização de fertilizantes de liberação controlada no substrato, eliminando-se a necessidade de adubações de cobertura.

Aplicação de outros produtos em mudas

Diante da necessidade de obtenção de mudas florestais com melhor crescimento, qualidade, resistência a pragas e doenças, bem como mudas nutridas de forma adequada, o uso de biotecnologias tem sido estudado. Para *E. benthamii,* Monteiro e Auer (2012a, 2012b) avaliaram mudas tratadas com Bacsol® (fertilizante orgânico 100% natural composto de microrganismos benéficos), incorporado ao substrato nas doses de 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2 g/muda. Os autores obtiveram resultados de crescimento linear positivo para altura, com incremento de até 41,5% quando comparado com o tratamento controle. Em outro estudo, Monteiro e Auer (2015) estudaram a influência do Bacsol® nos teores de NPK das folhas de mudas de *E. benthamii*. O produto foi incorporado ao substrato utilizado na produção e os autores concluíram que, com a aplicação, as mudas apresentaram teores nutricionais mais adequados para os elementos avaliados, com maiores taxas de eficiência nutricional. Monteiro (2013) avaliou o efeito do Bacsol® incorporado ao substrato no crescimento e nutrição de mudas de *E. benthamii* e observou que o produto apresentou efeito positivo no crescimento e nutrição das mudas, recomendando as dosagens de 1 ou 2 g por muda.

Meireles et al. (2012) avaliaram o efeito de diferentes formulações de extrato de composto e outros biofertilizantes aplicados em diferentes dosagens sobre o crescimento em altura, diâmetro, massa fresca da parte aérea e volume de raiz de mudas de *E. grandis*. Concluíram que o extrato de composto com dois dias de incubação apresentou

os melhores resultados para todas as características estudadas e esta resposta foi maior quando foi aplicado em maior quantidade (10 mL por muda). Deknes et al. (2018) avaliaram os efeitos de diferentes doses de lodo de curtume em mudas do híbrido "urograndis", *E. urophylla* x *E. grandis* (clone I144), procurando identificar o limite de dose a ser aplicada que poderia influenciar significativamente na disponibilidade de nutrientes ao solo e, consequentemente, no desenvolvimento das plantas.

Considerando a importância dos fungos do gênero *Trichoderma* para o crescimento das plantas, Carvalho Filho et al. (2008) avaliaram cinco isolados daquele gênero em mudas de *E. grandis* e *E. urophylla*. Concluíram que os isolados CEN 209, 262 e 500 promoveram a produção de ácido indolacético em testes de filtrados de colônias com o reagente de Salkowski. Constataram também que o isolado CEN 262 apresentou a maior produção de AIA e demonstrou capacidade de colonizar raízes das mudas de eucalipto (clone G-100). Além disso, esse isolado proporcionou o maior índice de desenvolvimento nas partes aérea e radicial das mudas.

Santos et al. (2008) avaliaram isolados de *Trichoderma* spp. e *Gliocladium virens* no crescimento e na produção de AIA in vitro, em mudas de *E. urophylla* e *E. grandis* e verificaram que, com exceção do isolado CEN 512 (*T. atroviride*), são capazes de promover crescimento significativo de raízes e parte aérea. Avaliando o efeito da aplicação de *Trichoderma harzianum* na supressão de doenças e no desenvolvimento de mudas de *E. grandis* propagadas por miniestaquia, Lohmann et al. (2009) encontraram efeito positivo na supressão de manchas foliares ocasionadas por *Cylindrocladium* sp. Não houve, no entanto, efeito da aplicação de *T. harzianum* no desenvolvimento das mudas.

Monteiro et al. (2015) avaliaram a influência de um produto biotecnológico (composto por vários grupos de microrganismos) na nutrição mineral e eficiência de uso de nutrientes em mudas de *E. benthamii.* A aplicação do produto aumentou a concentração dos nutrientes nos componentes foliares e em hastes de mudas e resultou em maior eficiência de uso dos nutrientes avaliados na produção de biomassa da parte aérea.

Recipientes

Diversos estudos foram realizados com recipientes para a produção de mudas de eucalipto. Wendling e Dutra (2017b) concluíram que os tubetes plásticos com capacidade de 50 cm^3 são os que têm melhor aceitação no mercado, pois permitem o acondicionamento de um número grande de mudas, automatização do sistema de produção, desde o seu enchimento até a semeadura e expedição das bandejas para a área de germinação. Um cuidado especial em relação a sua escolha é quanto à existência de frisos internos, que direcionam as raízes para a abertura inferior dos mesmos, evitando o enovelamento das raízes. Segundo os autores, tubetes biodegradáveis estão sendo

desenvolvidos e avaliados. As vantagens deste tipo de tubete em relação ao tradicional seriam relacionadas à diminuição de custos com mão de obra e materiais, tanto no viveiro quanto no campo, não havendo a necessidade de retirada das mudas dos mesmos antes do plantio, nem retorno dos tubetes ao viveiro, menor necessidade de espaço para armazenamento, não geração de resíduos, melhor conformação do sistema radicular, uma vez que as raízes não seriam todas direcionadas para a base do tubete. Como desvantagem dos tubetes biodegradáveis, os autores citam a necessidade de serem diferenciados para distintos tempos de produção de mudas, variável em função de espécies e condições de manejo.

Outro tipo de embalagem biodegradável desenvolvida apresenta o formato similar ao de um saco plástico (com diferentes tamanhos), utilizada em alguns viveiros de eucalipto (Wendling; Dutra, 2017b). Além das vantagens citadas para os tubetes biodegradáveis, este tipo de embalagem é totalmente aberto na parte inferior, possibilitando a poda das raízes e a formação de um sistema radicular mais expansivo, bem como dispõe de máquinas para a sua fabricação no próprio viveiro. Como desvantagens, os autores citam a necessidade do uso de bandejas especiais para a sua sustentação aérea e separação das mudas, para evitar o entrelaçamento das raízes entre embalagens, e a necessidade de um cronograma rígido de expedição das mudas.

Existem os chamados sistemas conjugados que funcionam como recipiente e substrato ao mesmo tempo (Wendling; Dutra, 2017b). Esses são constituídos de materiais orgânicos (geralmente turfas) prensados que, após umedecidos, se expandem. Quando a muda estiver pronta ao plantio é levada ao campo e plantada com o material, não havendo necessidade dela ser retirada da embalagem. Estes sistemas conjugados reduzem o gasto com mão de obra, uma vez que não há necessidade de preparação do substrato, do enchimento das embalagens e da retirada da embalagem, na hora do plantio. Além disso, as mudas produzidas nestes tipos de recipientes apresentam melhor desempenho de crescimento no campo, com menor deformação das raízes, quando comparadas com mudas produzidas em tubetes plásticos (Wendling; Dutra, 2017b).

Substratos

Diversos estudos sobre substratos para a produção de mudas de eucalipto foram realizados. Wendling e Dutra (2017b) concluíram que o tipo e a qualidade do substrato são fatores que condicionam de forma limitante os padrões de qualidade das mudas no viveiro e, para sua escolha, devem-se levar em conta fatores de ordem econômica e técnica do material. Além disso, segundo os mesmos autores, existem vários produtos que podem ser utilizados para a formulação de substratos, classificados em inertes (ex. vermiculita, casca de arroz carbonizada, moinha de carvão vegetal) e orgânicos

(ex. turfa, fibra de coco, esterco bovino, de aves e suínos, cascas de pinus ou eucaliptos, compostos derivados de resíduos orgânicos, etc.). Cada um destes componentes apresenta peculiaridades com relação aos teores de nutrientes disponíveis, condutividade elétrica, capacidade de retenção e disponibilização de água, granulometria, porosidade, etc. Para ser considerado um bom substrato, devem ser consideradas características importantes, tais como porosidade, retenção de umidade, granulometria e pH, as quais variam em função de sua origem, método de produção/obtenção, proporções de seus componentes, entre outras.

Dificilmente um material isolado apresentará todas as características desejadas de um bom substrato (Wendling; Dutra, 2017b). Por essa razão, os autores recomendam a mistura de dois ou mais materiais para sua formulação, sendo as proporções de cada material variáveis em função de suas características físicas, do sistema de produção de mudas, da sua disponibilidade, bem como do seu custo de produção e/ou aquisição. Na produção de mudas em embalagens, principalmente tubetes, atenção especial deverá ser dada para a agregação do substrato às raízes das plantas. Se o substrato não for bem agregado à muda, o torrão em volta das raízes se quebrará quando a embalagem for retirada para o transporte ou para o seu plantio no campo. Se, por outro lado, o substrato for muito compactado (firme), o torrão ficará aderido ao tubete, dificultando a sua retirada e podendo levar à ruptura de raízes, bem como resultar em problemas relacionados ao fraco crescimento do sistema radicular das mudas (Wendling; Dutra, 2017b).

Com o objetivo de obter mudas de qualidade, utilizando substratos alternativos, Brime et al. (2002) avaliaram o uso de diferentes proporções de casca de pínus, serragem decomposta e substrato comercial para a produção de mudas de *E. benthamii*. Concluíram que as misturas utilizadas não foram adequadas para a produção de mudas da espécie e o substrato comercial composto por esses mesmos materiais apresentou os melhores resultados.

Agostini et al. (2005) avaliaram características físico-hídricas de diferentes substratos para a produção de mudas de *E. badjensis*. Avaliaram oito tratamentos, sendo um com substrato padrão e os demais provenientes da compostagem dos resíduos: serragem, malte, celulósico, lixívia de celulose, esterco caprino e casca de pinus em diferentes proporções. Encontraram maiores valores de água disponível nos tratamentos compostados com serragem; já o tratamento com casca de pinus não compostada aumentou a porosidade total, aumentando o teor de água facilmente perdida pelo substrato. Comportamento semelhante também foi verificado nos tratamentos constituídos por composto de malte e esterco caprino, cuja dificuldade de hidratação deveu-se à elevada porosidade.

Maeda et al. (2006a, 2006b, 2006c) avaliaram resíduos gerados nas produções de papel e celulose, de cervejaria e da caprinocultura, como substratos para a produção de mudas de *E. badjensis*. Concluíram que o composto de bagaço de malte, serragem

de madeira e o esterco de caprinos compostado podem ser utilizados na formulação de substratos para produção de mudas, com ou sem adubação de base, enquanto que a formulação composta por lodo orgânico com serragem de madeira em mistura com casca de pinus pode ser utilizada somente como adubação de base. Com base nas formulações estudadas, os autores concluíram que é possível viabilizar tecnicamente a utilização destes materiais estudados na composição do substrato para produção de mudas de *E. badjensis*, com a determinação de doses de fertilizantes adequadas para a aplicação, tanto na base quanto em cobertura.

Xavier et al. (2009, 2013) fizeram uma série de recomendações sobre substratos para produção de mudas de eucalipto, por via da estaquia. Segundo os autores, o substrato mais utilizado na propagação por estaquia é constituído de vermiculita em combinação com casca de arroz carbonizada, composto orgânico ou outros materiais. Salientaram ainda que a qualidade da muda desejada, o processo de propagação, a disponibilidade e o custo do constituinte do substrato são fatores de relevância na tomada de decisão, bem como a existência de substratos comerciais no mercado especialmente formulados para enraizamento de estacas e miniestacas e que cabe ao produtor avaliar a melhor alternativa em termos de relação custo/benefício.

Steffen et al. (2011) avaliaram substratos constituídos de diferentes proporções de vermicomposto e turfa para a produção de mudas seminais de *E. grandis* e *Corymbia citriodora*. Os resultados demonstraram que o uso de 40-80% de vermicomposto favoreceu o crescimento das mudas de *C. citriodora*. Para *E. grandis*, no entanto, os autores recomendaram o uso de 60-80% de vermicomposto para o melhor crescimento das mudas. Maschio (2012) avaliou o efeito da inoculação de minhocas no substrato sobre o crescimento de mudas de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. benthamii*. A inoculação de minhocas da espécie *Pontoscolex corethrurus* promoveu maior crescimento de mudas de *E. benthamii* e a inoculação de *Amynthas gracilis* promoveu maior crescimento das mudas de *E. grandis*. Não houve influência no crescimento de mudas de *E. dunnii*. O autor recomendou ainda a necessidade de estudos para esclarecer os mecanismos de interação destas espécies de minhocas com o crescimento de mudas de *Eucalyptus* spp.

Kratz e Wendling (2013) observaram que o uso de casca de arroz carbonizada (CAC), combinada com vermiculita de granulometria média proporcionou crescimento de mudas de *E. dunnii* superiores àquelas crescendo em substratos comerciais. As propriedades físicas dos substratos utilizados naquele estudo apresentaram correlação com o crescimento das mudas. Em outro estudo, utilizando resíduos urbanos e agroflorestais, Kratz et al. (2013) observaram crescimento satisfatório em altura, diâmetro e produção de biomassa de mudas de *E. benthamii*, evidenciando o potencial de uso destes materiais como alternativas para a produção de mudas da espécie.

Em estudo para avaliar diversos materiais e formulações de substratos para a produção de mudas de *E. benthamii*, bem como estimar suas propriedades

físico-químicas por meio da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), Kratz (2015) concluiu que diversos materiais e formulações podem ser adotadas, com superioridade daquelas com maior capacidade de retenção de água, turfa, biossólido e fibra de coco. Quanto ao uso de modelos elaborados por meio do NIR, concluiu que o espectrofotômetro de bancada se mostrou viável para a estimativa de todas as propriedades físicas e químicas dos substratos. Por outro lado, concluiu também que o espectrofotômetro portátil permite a leitura de amostras mais homogêneas, refletindo na qualidade dos espectros.

Avaliando substratos baseados em CAC com diferentes granulometrias, vermiculita média e fibra de coco, para a produção de mudas de *E. camaldulensis*, Kratz e Wendling (2016) observaram que a CAC é um material com potencial de uso como componente de substratos. Observaram também que a densidade aparente, o pH e a capacidade de troca catiônica dos materiais são importantes por apresentarem correlação com as variáveis biométricas das mudas. Em outro estudo, Kratz et al. (2017) avaliaram a influência das propriedades físico-químicas de materiais usados como substratos na produção de mudas de *E. benthamii* e concluíram que houve maior crescimento nos substratos com maior capacidade de retenção de água. O biossólido apresentou o menor custo associado ao crescimento adequado das plantas e o uso de moinha de carvão pode auxiliar na redução dos custos de produção.

Rodrigues et al. (2016) avaliaram a utilização de sedimentos do Rio Amazonas incorporado ao substrato nas proporções 0%, 25%, 50%, 75% e 100% no crescimento de mudas de *E. grandis* e *Sclerolobium paniculatum*. Verificaram que o sedimento do Rio Amazonas apresentou melhor eficiência quando misturado ao substrato. A maior produção de matéria seca para *E. grandis* foi observada no tratamento contendo 25% de sedimento e 75% de substrato. Os autores atribuíram tais resultados a uma possível melhoria física do substrato em função da incorporação do sedimento.

Considerando a importância da destinação correta de resíduos sólidos industriais, Barros et al. (2016) avaliaram a utilização de biochar ativado (proveniente de resíduos madeireiros) na composição de substratos para mudas de eucalipto. Avaliaram diferentes composições de substratos: fibra de coco e casca de arroz carbonizada (1:1, v/v); comercial (SC), casca de pinus e vermiculita (4:1, v/v); SC com biochar ativado (BA) e biochar (B) em diferentes proporções (25%; 50% e 75%); dois substratos puramente compostos com BA e B. Concluíram que o SC e os tratamentos com biochar ativado (25%, 50%, 75% e 100%) e biochar (75% e 100%) proporcionaram as maiores massas secas totais das mudas. Já para altura e diâmetro do coleto, os tratamentos com 75% e 100% de biochar ativado e com 75% e 100% de biochar resultaram nos maiores crescimento em altura e diâmetro do coleto. Em outro estudo, Barros (2017) concluiu que o pó-de-serra transformado em biochar é uma alternativa para o aproveitamento desse resíduo como um componente de substratos para produção de mudas de eucalipto. Sass et al. (2018) avaliaram o efeito do carvão vegetal como componente

de substrato para a produção de mudas de *E. dunnii* e concluíram que o mesmo não contribuiu para a melhoria da qualidade das mudas quando adicionado ao substrato.

Semeadura e germinação de sementes

Vários estudos sobre produção de mudas de eucalipto abordando a parte de sementes e semeadura foram desenvolvidos pela Embrapa e parceiros. Souza e Cândido (1977) avaliaram tipos de cobertura na produção de mudas de *E. grandis* e concluíram que palha de café e carvão foram os melhores materiais para cobertura na produção de mudas da espécie. Souza et al. (1981), em estudos sobre produção de mudas de eucalipto, recomendaram que as sementes sejam colocadas sobre o substrato (no recipiente) e cobertas com uma camada de 0,5 cm a 1 cm de areia. Quando as mudas atingirem 5 cm de altura, deve-se realizar o primeiro desbaste eliminando as mais fracas, com auxílio de uma tesoura, estando aptas ao plantio definitivo quando atingirem a altura de 20 cm a 30 cm. Silva et al. (1983) avaliaram diferentes tipos de materiais de cobertura de sementes para a produção de mudas de *Corymbia citriodora*. Avaliaram os substratos casca de arroz, areia, carvão, serragem e vermiculita em camadas com espessuras de 1,0 cm e 0,5 cm. Os autores concluíram que, para a cobertura de sementes da espécie, a casca de arroz, a areia ou o carvão com camada de espessura de 1,0 cm são os mais indicados, considerando-se a disponibilidade e o custo de tais materiais em cada região de produção da espécie.

Drumond e Souza (1982) avaliaram a influência da luz na produção de mudas de *Corymbia citriodora* e concluíram que a porcentagem de germinação e as características biométricas das mudas não foram influenciadas pelos níveis de sombreamento utilizados. Com base nisso, os autores ressaltaram que o sombreamento não é necessário para a produção de mudas seminais desta espécie. Tendo como hipótese que há diferenças no tamanho das sementes, de acordo com a altitude do local de origem e que esta também influencia no desenvolvimento das mudas, Moura (1983) avaliou o efeito deste fator nas características de sementes de *E. urophylla*. O autor concluiu que há influência da altitude sobre o tamanho, área cotiledonar e, consequentemente, no crescimento inicial das mudas. Recomendou ainda que a seleção de mudas fosse feita apenas oito semanas após a germinação, a fim de evitar a influência destes aspectos no tamanho das mesmas.

Entre uma série de recomendações, Wendling e Dutra (2017b) citam que o processo de semeadura de eucalipto pode ocorrer pelo método mecânico, com a utilização de seringas e bandejas de semeadura ou máquinas automáticas ou semiautomáticas, com diferentes princípios de funcionamento e produtividade. Segundo os autores, o que determinará a escolha do método a ser empregado é a quantidade de mudas a ser produzida, justificando-se ou não a mecanização da atividade e o porte do equipamento a ser adquirido. Recomendaram as seringas de semeadura

como uma alternativa simples e barata para uso em pequenos viveiros, podendo ser facilmente montadas, com materiais simples e disponíveis. Em livro publicado sobre produção de mudas de eucalipto, Wendling e Dutra (2017b) mostraram um esquema para montagem de uma seringa de semeadura com a utilização de canos de PVC e um paliteiro de plástico para a mesma finalidade (Figura 1). Salientaram também que uma preocupação na semeadura, principalmente com sementes pequenas, é a possibilidade de se semear duas vezes o mesmo recipiente ou deixar recipientes sem sementes. Isso pode ser evitado usando-se um produto misturado à semente que contraste com a cor do substrato (talco inerte) ou com o uso de marcadores como barbantes ou arames.

Foto: Ivar Wendling.

Figura 1. Seringa de semeadura montada a partir de um paliteiro de plástico.

Outros estudos realizados

Estudando a resistência de mudas de *E. viminalis* à geada por dois métodos, Lisbão Junior (1986a, 1986b) avaliou e analisou o método de Paton em comparação a um método de atribuição de notas. O autor verificou que ambos os métodos condiziram a interpretações equivalentes, exceto em alguns casos de pouca relevância. Constatou que a avaliação por notas e análise pelo Teste qui-quadrado ($\chi 2$) de Pearson, quando comparado com o método de Paton e ANOVA, apresenta as vantagens de ser um método não destrutivo; permite a avaliação no campo ou no laboratório; não exige equipamentos específicos e apresenta maior simplicidade de análise, não necessitando de transformações ou verificação da normalidade de distribuição dos dados. Por outro lado, segundo o mesmo autor, este método apresenta as desvantagens de não permitir a análise de possíveis interações entre tratamentos nos ensaios fatoriais, bem como não admite o uso de regressões.

Avaliando a eficiência de uso de água por mudas de espécies florestais exóticas e nativas, Souza (2009) verificou que mudas do híbrido *"*urograndis*"* não diferiram de mudas de *Tabebuia impetiginosa* e *Calophyllum brasiliense*. O autor concluiu que tal resultado descaracteriza a ideia de um maior consumo de água pelo eucalipto quando comparado com as espécies nativas, nessa fase de desenvolvimento (120 dias) e que ambas as espécies se mostraram pouco eficientes no uso de água. Todavia, ressaltou que as mudas de "urograndis" situaram-se no grupo de espécies que apresentaram os melhores desempenhos de crescimento.

Padronização e qualidade de mudas

Após o final da rustificação, as mudas devem ser submetidas à seleção e padronização. Para estarem aptas ao plantio, Wendling e Dutra (2017b) recomendaram adotar os seguintes padrões de qualidade para mudas de eucalipto:

- Altura da parte aérea: 15 cm a 25 cm.
- Diâmetro de colo: >2 mm.

Sistema radicular ocupando toda a área interna do tubete, com bom desenvolvimento e coloração branca (raízes novas).

Propagação vegetativa ou clonagem

No Brasil, a propagação vegetativa de eucalipto passou por inúmeras transformações, tendo iniciado com a implementação da técnica de estaquia, em escala comercial, em meados da década de 1970. As técnicas de propagação vegetativa representam grande potencial para os programas de melhoramento genético florestal e desenvolvimento tecnológico direcionados ao aumento da produtividade, aspecto de grande importância para o setor produtivo florestal brasileiro, uma vez que a maioria das florestas com eucalipto provém de mudas propagadas vegetativamente (Ferrari et al., 2004).

Devido às dificuldades encontradas na propagação vegetativa de algumas espécies e clones de eucalipto por estaquia, principalmente no que diz respeito à utilização de material adulto e considerando a variação entre genótipos, a técnica de micropropagação surgiu com grande potencialidade na década de 1980. Entretanto, o uso da micropropagação na produção comercial de mudas de eucalipto não se justificou técnica e economicamente, sendo mais recomendada ao rejuvenescimento de material adulto, visando à microestaquia (Xavier et al., 2009, 2013; Wendling; Dutra, 2010b, 2010c, 2017a).

O fato de a microestaquia depender de laboratório de cultura de tecidos para promover o rejuvenescimento dos clones selecionados limitou o avanço desta técnica pela maioria dos produtores de mudas florestais. Neste sentido, no final da década de 1990, a miniestaquia foi rapidamente desenvolvida para a clonagem de eucalipto, sendo que, atualmente, praticamente todos os médios e grandes produtores brasileiros já a implantaram em nível comercial. Por outro lado, produtores de mudas de pequeno porte também estão se adequando para adotar a clonagem de eucalipto por miniestaquia, em escala comercial (Xavier et al., 2009, 2013; Wendling; Dutra, 2010b, 2010c, 2017a).

Dias et al. (2012) discutiram os processos de estaquia e miniestaquia como alternativa para suplantar as dificuldades observadas na propagação de algumas espécies vegetais, por via seminal. Tendo em vista a importância das pesquisas já desenvolvidas, os autores compilaram informações importantes relacionadas aos processos de propagação vegetativa de espécies florestais lenhosas nativas do Brasil.

Inoue et al. (1992) compararam o desempenho fotossintético entre mudas clonais de *E. grandis* x *E. urophylla* provenientes de micropropagação e estaquia. Observaram que mudas oriundas de estacas apresentaram desempenho fotossintético superior, com valores médios de 3,0 µmol m^{-2} s^{-1}, enquanto mudas micropropagadas apresentaram valores em torno de 1,0 µmol m^{-2} s^{-1}. Os autores sugeriram como provável causa dessas diferenças o conteúdo de clorofila das plantas.

Grattapaglia et al. (1995) utilizaram estratégias de mapeamento genético para identificar loci de características quantitativas (QTL) relacionadas à propagação vegetativa de *E. grandis* e *E. urophylla*. Demonstraram que os desequilíbrios dentro de famílias podem identificar regiões do genoma que controlam características herdáveis relacionadas à propagação vegetativa.

Reguladores de crescimento para enraizamento de estacas

Para formação de raízes adventícias em estacas, é necessária a presença de certos níveis de substâncias de crescimento natural na planta, sendo umas mais favoráveis que outras. Várias substâncias, quando aplicadas exogenamente, promovem ou inibem a iniciação de raízes adventícias, dependendo da espécie, do estado de maturação, entre outros fatores (Xavier et al., 2013). Revisando assuntos sobre extração, purificação e quantificação de auxinas e a aplicação destas técnicas na propagação vegetativa de espécies florestais, Stuepp et al. (2014) concluíram que as auxinas, embora venham sendo amplamente utilizadas na propagação de espécies florestais, têm dificuldades de quantificação devido à baixa concentração nos tecidos vegetais.

Na estaquia comercial de *E. grandis, E. urophylla* e seus híbridos, por exemplo, Xavier et al. (2009, 2013) e Wendling (2014) citam que o AIB tem sido usado com sucesso no enraizamento, em concentrações variando de 6.000 mg L^{-1} a 8.000 mg L^{-1}, aplicado via pó ou via líquida. Entretanto, ressaltaram que, no caso da miniestaquia desses mesmos materiais genéticos, resultados positivos nos índices de enraizamento e sobrevivência das miniestacas podem ser alcançados com maior eficiência quando utilizadas concentrações entre 1.000 mg L^{-1} e 2.000 mg L^{-1} para alguns clones e a não aplicação em outros que apresentem maior facilidade de enraizamento. Wendling (2002) concluiu que concentrações em torno de 2.000 mg L^{-1} de AIB têm proporcionado melhores resultados de enraizamento para clones com maior dificuldade de propagação.

No que tange à aplicação de AIB, Wendling (2002) não observou efeitos das diferentes dosagens em relação à sobrevivência dos clones CC14 e CC12. Já nos

clones CC10 e CC15, foram observadas respostas diferenciadas à aplicação de AIB, não havendo, entretanto, tendência clara de efeito positivo ou negativo. Tais resultados são contrários aos encontrados na miniestaquia realizada por Wendling (1999), cuja dosagem 1.000 mg L^{-1} foi a mais eficiente. Quanto à altura das mudas aos 50 dias e diâmetro de colo, diferentes dosagens de AIB não geraram diferenças significativas (Wendling, 2002).

Em geral, espécies de eucaliptos subtropicais não têm apresentado bom resultado de enraizamento de estacas, fazendo-se necessário o uso de reguladores. Em experimento utilizando híbridos de *E. benthamii* x *E. dunnii*, Brondani et al. (2010a) observaram que concentrações entre 4.000 mg L^{-1} e 6.000 mg L^{-1} de AIB promoveram melhor sobrevivência e enraizamento das miniestacas na saída da casa de vegetação.

Wendling et al. (2014a) apresentaram um histórico do uso de reguladores para o enraizamento de propágulos de diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*. Segundo os autores, o uso de reguladores para o enraizamento de estacas se justifica principalmente pela menor juvenilidade dos materiais usualmente propagados por esta técnica. No entanto, atualmente, o método de miniestaquia é o mais utilizado para a propagação massal de clones de eucaliptos e, neste caso, o uso de reguladores pode ser evitado com o adequado manejo das minicepas, em viveiro.

Estaquia

Em um dos primeiros estudos sobre estaquia de *Eucalyptus* realizados na Embrapa, Higa e Borssato (1983) avaliaram o enraizamento de estacas de dez espécies de duas procedências e concluíram que o enraizamento é extremamente variável entre espécies e entre indivíduos de uma mesma espécie. Cooper e Graça (1987) avaliaram a capacidade de enraizamento de *E. dunnii,* em estacas provenientes de 1ª ou 2ª rebrota de diferentes procedências. A alta variabilidade no enraizamento ocorreu não apenas entre procedências, mas entre indivíduos da mesma procedência. Os autores observaram também a interferência de fatores externos no enraizamento da espécie.

Cooper et al. (1994) descreveram a técnica de produção de mudas de *E. dunnii* por estaquia. Abordaram todas as etapas necessárias para a otimização do enraizamento, dentre elas o preparo de estacas, tratamentos fitossanitários e aplicação de reguladores de crescimento, bem como o plantio das estacas e aspectos a serem observados durante o período de enraizamento.

Souza Junior et al. (2002) avaliaram o nível de enraizamento de estacas de rebrotas de cepas de progênies de *E. viminalis* e os resultados corroboraram com aqueles encontrados na literatura, ou seja, descreveram a espécie como de difícil enraizamento. Ao final do experimento os autores observaram a formação de brotos, mas nenhuma estaca enraizou, provavelmente devido às condições de temperatura e umidade da casa de vegetação e à ocorrência de fungos patogênicos.

Miniestaquia

A miniestaquia é uma variação da técnica de estaquia e foi desenvolvida a partir da década de 1990 para *Eucalyptus* (Xavier et al., 2009, 2013). De maneira geral, a miniestaquia é similar à estaquia convencional, porém apresenta variações metodológicas que permitem a otimização do enraizamento e qualidade da muda clonal, principalmente de clones com maior dificuldade de enraizamento (Xavier et al., 2001, 2009, 2013; Wendling; Dutra, 2010b, 2017a). Segundo Xavier e Wendling (1998), a alternativa da miniestaquia em substituição à microestaquia pode ser considerada uma boa estratégia, uma vez que não necessita de estruturas de laboratório de cultura de tecidos, reduzindo, portanto, os custos na produção das mudas.

De acordo com Souza Junior e Wendling (2003), a miniestaquia de *E. dunnii*, a partir de material de origem seminal, apresenta-se tecnicamente viável para a produção de mudas, não havendo a necessidade de utilização de reguladores para o enraizamento, devido ao elevado grau de juvenilidade do material. Souza Júnior e Wendling (2005), entretanto, avaliaram a miniestaquia de *E. dunnii* a partir de propágulos juvenis e obtiveram de 70% a 90% de aproveitamento das mudas, as quais apresentaram altura média variando de 12 cm a 18 cm e diâmetro do colo entre 1,5 mm e 3 mm, resultados que conferiram a eficiência técnica da miniestaquia para essa espécie.

Observando a produtividade de minicepas em um minijardim clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis x urophylla*, Wendling (2002) comparou as médias obtidas em sistema de hidroponia em canaletão (média geral de 5,6 miniestacas por minicepa e por coleta) com as médias obtidas por Wendling (1999) no sistema convencional de tubete (1,9 miniestaca por minicepa) e concluiu pelo grande aumento de produtividade do sistema em canaletão. Cunha et al. (2005) concluíram que a produtividade e sobrevivência de minicepas de *E. benthamii* manejadas em cultivo hidropônico e em tubetes é tecnicamente viável. Porém, o jardim clonal semi-hidropônico foi superior em termos de produtividade de brotos, mostrando-se mais promissor para a produção de propágulos.

Wendling et al. (2003) avaliaram a influência da miniestaquia seriada no vigor de minicepas de *E. grandis* e concluíram que, em clones com baixos potenciais de enraizamento, sobrevivência e vigor, a técnica é eficiente visando ao rejuvenescimento. No entanto, encontraram variações do grau de rejuvenescimento conforme as características dos clones. Já, Wendling e Xavier (2005a, 2005b) estudando a mesma espécie, avaliaram a miniestaquia seriada em sete subcultivos e concentrações de AIB (0 mg L^{-1}, 500 mg L^{-1}, 1.500 mg L^{-1} e 3.000 mg L^{-1}). Concluíram que a miniestaquia seriada foi mais eficiente no rejuvenescimento de clones com menor grau de juvenilidade e não houve diferenças quanto às concentrações de AIB. Todavia, para algumas características e clones foram constatados níveis de toxidez nas concentrações acima de 500 mg L^{-1}.

Para a propagação vegetativa de *E. benthamii* e *E. dunnii* por miniestaquia, Brondani et al. (2009) recomendaram estacas com aproximadamente 7 cm a 12 cm de comprimento, deixando-se um a dois pares de folhas reduzidas pela metade e imersão da porção basal das estacas em solução a concentração de 8.000 mg L^{-1} de AIB. Brondani et al. (2012b) observaram que o tempo ótimo de permanência das miniestacas de clones do híbrido *E. benthamii* x *E. dunnii* em casa de vegetação é de 35 a 42 dias, dependendo do genótipo. Observaram ainda que é possível determinar a porcentagem de enraizamento e o comprimento total de raízes a partir de modelos matemáticos.

Ferriani et al. (2010) apresentaram procedimentos e resultados de pesquisas sobre miniestaquia de espécies florestais, principalmente do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*. Analisaram as condições de implementação e manejo que possibilitam o desenvolvimento satisfatório de minicepas e miniestacas e discutiram a importância da miniestaquia para a produção de mudas florestais.

O efeito da sazonalidade nos processos rizogênicos é muito importante para o estabelecimento da miniestaquia de *Eucalyptus*, principalmente os utilizados em regiões frias. Brondani et al. (2009, 2010b) observaram que a sobrevivência e o enraizamento de miniestacas variam conforme o efeito da sazonalidade, sendo que os melhores índices foram observados nas estações frias (outono e inverno), para todos os clones avaliados. Por outro lado, Brondani et al. (2012a) observaram que a produtividade das minicepas de híbridos destas espécies reduz nas estações mais frias. Pires (2015) e Pires et al. (2017) concluíram que a produção de brotações de três clones de *E. benthamii* x *E. dunnii* foi influenciada significativamente por oscilações de variáveis climáticas, em diferentes semanas anteriores à coleta. Os autores afirmaram que elevadas oscilações climáticas não são benéficas para um desenvolvimento adequado das minicepas, de modo que o maior controle climático visando faixas ideais pode otimizar a produção de brotações.

Para o híbrido *Corymbia torelliana* x *C. citriodora*, Wendling et al. (2015a) investigaram se a capacidade de enraizamento e vigor das miniestacas variou em função da sua localização na minicepa, diâmetro das miniestacas e concentrações hormonais. Concluíram que o enraizamento está relacionado à lignificação e desenvolvimento do esclerênquima, e não com as concentrações internas de ácido indolacético (IAA) e ácido abscísico (ABA) na minicepa. Estudando clones desse mesmo híbrido, Wendling et al. (2015b) avaliaram o efeito de alturas de poda das minicepas na produção de brotações, capacidade de enraizamento e vigor das miniestacas. Miniestacas de plantas mais baixas geraram maior comprimento de raízes, biomassa seca e altura do que aquelas provenientes de plantas mais altas. Estas diferenças, no entanto, não estiveram relacionadas à concentração de IAA ou ABA ou a diferenças anatômicas, mas sim à maior juvenilidade do material mantido mais baixo.

Enxertia

Em termos de enxertia, os estudos com eucalipto foram iniciados na década de 1980, na Embrapa (Figura 2). Higa et al. (1983) avaliaram o efeito das famílias, progênies e enxertadores na enxertia de *E. urophylla* por borbulhia em janela aberta. Concluíram que não houve influência do enxertador e que existem variações entre e dentro de famílias, sendo as últimas maiores e, por consequência, recomendaram que a formação de porta-enxertos seja controlada geneticamente para a espécie.

Foto: Ivar Wendling

Figura 2. Enxertia de *Eucalyptus grandis*.

Xavier et al. (2009, 2013) relataram uma série de recomendações sobre a utilização da técnica de enxertia para eucalipto. Entre as várias aplicações dessa técnica na área florestal, os autores destacaram: i) perpetuação de clones que não podem ser propagados ou mantidos por estacas ou outros métodos assexuados; ii) manutenção das características genéticas da planta que se quer multiplicar; iii) em certas condições, propicia floração e frutificação precoces; iv) resistência a certas doenças e pragas em função do porta-enxerto; v) formação de pomares de produção de sementes; vi) obtenção de formas especiais no crescimento da planta; vii) renovação de plantas, substituindo a copa; viii) possibilidade de fixação de híbridos; ix) possibilidade de transformar plantas estéreis em produtivas, inoculando-lhes ramos ou gemas frutíferas; x) como técnica de resgate vegetativo de genótipos selecionados, visando atender aos objetivos de clonagem; e xi) como técnica de rejuvenescimento de clones.

Cultura de tecidos

A cultura de tecidos reúne diferentes técnicas, nas quais as plantas são cultivadas in vitro, em laboratório, em recipientes contendo meio de cultura, em ambiente

asséptico, com temperatura e fotoperíodo controlados. Como nestas condições as plantas não realizam fotossíntese, o meio é rico em macro e micronutrientes, vitaminas, carboidratos e pode ou não conter reguladores de crescimento vegetal e um agente gelificante. Dependendo da espécie e da técnica utilizada, outros reagentes podem também ser adicionados ao meio de cultura.

Revisões sobre o assunto foram publicadas também por Dutra et al. (2009), Laia et al. (2014) e Trueman et al. (2018) reportando as técnicas de cultura de tecidos que vêm sendo utilizadas para espécies do gênero *Eucalyptus*, tais como micropropagação por gemas axilares, organogênese e embriogênese somática, além da possibilidade de sua utilização para o cultivo massal em biorreatores e na transformação genética de plantas.

A cultura de tecidos para espécies florestais pode ser usada nos programas de melhoramento para a multiplicação de genótipos selecionados, rejuvenescimento de material selecionado, na obtenção de mudas livres de vírus e bactérias e na produção de sementes sintéticas. As técnicas são também a base fundamental para a obtenção de árvores transgênicas. A micropropagação, com a utilização ou não de biorreatores, e a organogênese como ferramenta para a transformação genética são as mais utilizadas para as espécies do gênero *Eucalyptus*.

Brondani et al. (2007a) avaliaram o efeito do hipoclorito de sódio (NaOCl) na assepsia de segmentos nodais de três clones híbridos de *E. benthamii* x *E. dunnii* oriundos de sistema semi-hidropônico. Os autores observaram diferenças entre clones em relação à contaminação por bactéria (0% a 9%), oxidação (0% a 6%) e explantes sadios (45% a 66%) introduzidos no cultivo in vitro, aos 21 dias após a inoculação.

Uma das principais aplicações desta técnica é na multiplicação de genótipos selecionados, com a finalidade de rejuvenescimento clonal por meio de subcultivos do material in vitro (Xavier et al., 2009, 2013; Wendling; Dutra, 2010c; Dutra; Wendling, 2017). Após este processo, as mudas micropropagadas são utilizadas para a formação de minijardins clonais. No entanto, esta técnica é altamente dependente do genótipo das plantas e, portanto, algumas espécies como *E. urophylla, E. grandis* e seus híbridos são mais responsivas do que outras.

A utilização de explantes provenientes de material adulto e de campo representa um dos maiores desafios, embora tenha sido utilizado com sucesso em alguns casos. Hansel et al. (2005) avaliaram a viabilidade da introdução in vitro a partir de segmentos nodais e ápices caulinares obtidos de decepa de árvores de *E. benthamii* com 17 anos. Os autores observaram que os ápices caulinares apresentaram menor contaminação (3%) e maior oxidação (20%) quando comparado aos segmentos nodais (95% e 3%), respectivamente, e selecionaram os primeiros para introdução in vitro.

Ao avaliar reguladores de crescimento e suas combinações no cultivo in vitro de *E. urophylla*, Santos et al. (2004) observaram que determinadas combinações de reguladores (1,2 mg L^{-1} de ácido indolacético (AIA), 0,8 mg L^{-1} de 6-bezolaminopurina (BAP) e 5 mg L^{-1} de tiamina ou 0,1 mg L^{-1} de ácido indolbutírico e 0,1 mg L^{-1}

de BAP) promoveram melhores resultados para alongamento, número de brotações, altura e peso de plântulas. Na multiplicação in vitro de brotos do híbrido *E. benthamii* x *E. dunnii*, Oliveira et al. (2014) avaliaram diferentes composições de meios de cultura acrescentados de 1,11 µM de BAP ao longo de quatro subcultivos (4 meses) e observaram que a maior taxa de multiplicação ocorreu no meio MS, durante o primeiro e o segundo subcultivos (9,28 e 9,24 por mês). A partir do terceiro subcultivo a composição do meio não influenciou a taxa de multiplicação.

Ainda para *E. benthamii* x *E. dunnii*, Brondani et al. (2007b) avaliaram diferentes concentrações de BAP e ANA na multiplicação e alongamento de híbridos e concluíram que a concentração de BAP que resultou no maior valor médio de proliferação de gemas axilares por explante, aos 30 e 60 dias após a inoculação, foi estimada em 0,30 mg L^{-1}. Já para a fase de alongamento das brotações, a concentração de 0,49 mg L^{-1} de ANA promoveu o maior número de brotações alongadas. Brondani et al. (2011) também observaram que o uso de 0,50 mg L^{-1} de BAP e 0,05 mg L^{-1} de ANA em meio de cultura promoveram o desenvolvimento de brotações de clones de *Eucalyptus*. Observaram, ainda, que a adição de 0,10 mg L^{-1} ou 0,20 mg L^{-1} de ácido giberélico em meio com 0,10 mg L^{-1} de BAP promoveu melhores resultados para o enraizamento. Na obtenção de brotações múltiplas, para o mesmo híbrido, o meio de cultura suplementado com 0,25 mg L^{-1} e 0,30 mg L^{-1} de BAP resultou na maior proliferação de gemas axilares para o clone H12 após 60 dias e 0,25 a 0,75 mg L^{-1} de ANA promoveu o maior número de brotações alongadas para o mesmo clone.

O enraizamento pode ser uma etapa da micropropagação, como descrito por Oliveira et al. (2014) que observou 35% de enraizamento em brotações provenientes do cultivo in vitro para um clone do híbrido *E. benthamii* x *E. dunnii*, em meio de cultura contendo 2,46 µM de IBA e para o clone BRS 07 selecionado no programa de melhoramento da Embrapa, foi observada uma porcentagem de enraizamento in vitro da ordem de 22,5% em meio de cultura suplementado com 4,9 µM de AIB (Bettencourt et al., 2018).

A organogênese é outra técnica da cultura de tecidos, na qual, a partir das células de um tecido (de raiz, folha, etc.), ocorre a regeneração de uma nova planta, normalmente a partir da formação de uma brotação, a qual entra no processo de micropropagação, o que permite sua multiplicação. Em seguida, a plântula é enraizada e aclimatizada. Esta técnica é mais trabalhosa do que a anterior e é igualmente dependente, entre outros fatores, do genótipo, das condições da planta matriz da qual os explantes serão excisados, da composição do meio de cultura, do balanço hormonal, sendo necessária comumente a suplementação do meio de cultura principalmente com citocininas e auxinas. As condições do cultivo também são determinantes para o sucesso desta técnica. Este processo costuma ser mais oneroso e exige mais tempo e mão de obra especializada do que a micropropagação por segmentos nodais. No entanto, é atualmente a mais apropriada para espécies de *Eucalyptus*, quando se pretende produzir

plantas geneticamente modificadas. Neste sentido, vários protocolos podem ser encontrados na literatura para as espécies de *Eucalyptus*. No entanto, a técnica é também dependente do genótipo e cada espécie, e mesmo variedade ou clone dentro de uma mesma espécie, apresenta resposta diferenciada, exigindo protocolos específicos.

Oliveira et al. (2017) desenvolveram um protocolo de organogênese indireta a partir de folhas de plantas mantidas in vitro do clone de *E. grandis* x *E. urophylla* AEC 224. O meio de cultura suplementado com 0,25 µM de TDZ e 0,1 µM de ANA durante 30 dias, seguido de inoculação em meio de cultura suplementado com 5,0 µM de BAP possibilitou uma regeneração de brotações em 43% dos explantes, considerada alta para eucalipto. Alta taxa de regeneração também foi observada por Bettencourt et al. (2018), para um material clonal de *E. urophylla*, selecionado no programa de melhoramento genético da Embrapa. Com o intuito de posterior utilização para a transformação genética deste material, foi desenvolvido um protocolo a partir do qual foi observada uma taxa de 85,6% de regeneração, em meio de cultura suplementado com 0,5 µM de TDZ e 0,5 µM de ANA por 30 dias, seguido de meio de cultura 5,0 µM de BAP e 1,0 µM de ANA (Bettencourt et al., 2018).

Já o híbrido de *E. benthamii* x *E. dunnii* mostrou-se bem mais recalcitrante a esta técnica. A organogênese indireta de *E. benthamii* x *E. dunnii* foi avaliada a partir de explantes foliares de plantas micropropagadas. Após 70 dias observou-se que o meio de cultura MS com metade da concentração de nitrogênio, suplementado com 0,1 µM de ANA, 0,5 µM de TDZ e PVP-40 promoveu organogênese em 8,3% dos explantes (Oliveira et al., 2014).

Outros fatores como a concentração de antibióticos na seleção de plantas transformadas geneticamente também são estudados. Em estudo para determinar o tipo e a concentração de antibióticos adequados para a eliminação de *A. tumefaciens* em explantes cotiledonares e estabelecer a dose letal mínima do agente seletivo canamicina, sem que haja interferência no potencial regenerativo de *E. camaldulensis*, Quisen et al. (2009) observaram maior porcentagem de regeneração quando foi utilizado 300 mg L^{-1} de Augmentina® por 15 dias, seguido por 150 mg L^{-1} por 30 dias, e 100 mg L^{-1} por mais 30 dias. Explantes cotiledonares não transformados foram cultivados em meio de cultura suplementado com o antibiótico canamicina e a dose letal mínima foi 9 mg L^{-1}.

O sequenciamento recente do genoma de *E. grandis* (Myburg et al., 2014) forneceu informação genética importante para estudos de genômica funcional e para o desenvolvimento de novos genótipos mediante engenharia genética mantendo, no entanto, as características genéticas de clones-elite. Apesar de muitos estudos, as espécies de eucalipto ainda são bastante recalcitrantes à transformação genética, com baixas porcentagens de eficiência (Laia et al., 2014). A maioria dos trabalhos publicados referem-se a protocolos de transformação buscando elevar estas taxas. A transformação genética para um material clonal com porcentagem de regeneração por

organogênese de 85,6% foi descrita e foram obtidas plantas transgênicas expressando o gene uidA, um gene marcador que confere coloração azul às plantas transformadas em teste histoquímico. No entanto, a taxa de transformação para este protocolo ainda foi baixa (2,67%) (Bettencourt et al., 2018).

A transformação genética de *E. saligna* via *Agrobacterium tumefaciens* teve eficiência de 1,5% quando se utilizou explantes cotiledonares de sementes germinadas in vitro. Para esta espécie, a presença de acetosseringona (um composto fenólico que aumenta a eficiência da transformação via *A. tumefaciens*) foi fundamental, e com uma concentração baixa do antibiótico canamicina foi possível selecionar plantas transformadas com o gene uidA (Oliveira-Cauduro et al., 2017).

Organização e disponibilização da informação

Desde 1978, a Embrapa vem se empenhando para a sistematização da informação, contendo conhecimentos científicos, avanços e soluções tecnológicas relacionadas com a produção de mudas de eucalipto. Esta organização é estratégica no sentido de facilitar o acesso do público interessado (produtores de mudas, estudantes, extensionistas e pesquisadores) às informações, de maneira compreensível e simplificada. Neste sentido, pode ser citada a elaboração de, pelo menos, sete cartilhas, cinco livros, 15 capítulos de livro, dez dissertações de mestrado e teses, sete artigos de revisão bibliográfica. Não se tem um senso do número exato de artigos divulgados na mídia sobre produção de mudas de eucalipto. No entanto, estimativas indicam que são mais de 300 relacionados ao tema e publicados desde o início da década de 1980.

Treinamentos realizados

A partir de 1978, foram realizados pela Embrapa Florestas inúmeros eventos de treinamento, na forma de cursos, palestras e dias de campo, sendo a maioria dos iniciais sem a devida manutenção de registros. Somente nos últimos 15 anos foram realizados mais de 25 cursos de viveiros e produção de mudas, ministrados por profissionais da Embrapa, onde o eucalipto sempre teve destaque especial, tendo em vista ser a espécie com maiores avanços nessa área, onde foram treinadas mais de 1.000 profissionais do Brasil e de outros países.

Perspectivas e novas demandas

Percebe-se que muitos estudos foram desenvolvidos com a temática de produção de mudas de eucalipto nos últimos 40 anos, com clara intensificação nos últimos 15 anos. Progressos e inovações foram obtidas aos sistemas e técnicas de produção, destacando-se aquela em recipientes suspensos e, ou biodegradáveis, a substituição da terra de subsolo pelo substrato, o uso de estruturas de propagação com melhores controles ambientais e ergonômicos, técnicas de produção vegetativa, nutrição de mudas e automatização dos viveiros e sistemas de produção em níveis e intensidades variáveis.

Em termos específicos de técnicas de produção de mudas de eucalipto, tanto via sexuada ou assexuada, diferentes metodologias foram desenvolvidas e, ou aperfeiçoadas, ficando claro que a escolha dos diferentes processos dependerá do objetivo final a ser alcançado com as mudas, considerando-se suas vantagens e limitações técnicas e econômicas. Contudo, o que se observa é que as técnicas se complementam, cada qual tendo sua aplicabilidade em determinada fase do programa de melhoramento genético, onde a produção de mudas é a base.

Nos próximos anos, imagina-se que a pesquisa na área de produção de mudas de eucalipto estará focada no desenvolvimento, ajustes e avaliações em viveiro e campo de recipientes e substratos biodegradáveis, produzidos com subprodutos da agropecuária e do meio urbano, contendo nutrientes e microorganismos promotores de crescimento. Ademais, será imprescindível avançar no desenvolvimento de metodologias eficientes para enraizamento de materiais genéticos de difícil enraizamento, principalmente espécies subtropicais de eucaliptos, bem como processos eficientes de produção de sementes sintéticas e biorreatores, possibilitando associação das vantagens da clonagem com a propagação sexuada.

Referências

ACCIOLY, A. M. de A.; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Silicato de cálcio como amenizante da toxidez de metais pesados em mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 180-188, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000200010.

AGOSTINI, R. B.; DEDECEK, R. A.; MAEDA, S. Avaliação das características físico-hídricas de diferentes substratos para produção de mudas de *Eucalyptus badjensis*. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 4., 2005, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. CD-ROM (Embrapa Florestas. Documentos, 117). Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/312532.

BARROS, D. L. de. **Caracterização e utilização de biocarvão proveniente de resíduo madeireiro na produção de mudas florestal, frutífera e a campo de teca (*Tectona grandis*)**. 2017. 104 f. Dissertação (Tese em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BARROS, D. L. de; REZENDE, F. A. de; MAIA, C. M. B. de F. Uso de biochar ativado na composição de substratos para mudas de eucalipto. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 10., 2016, Campinas. **Novos materiais, novas culturas**: caderno de resumos. Campinas: IAC, 2016. 1 p.

BETTENCOURT, G. M.de F.; SOCCOL, C. R.; GIOVANELLA, T. S.; FRANCISCON, L.; KESTRING, D. R.; GERHARDT, I. R.; DEGENHARDT-GOLDBACH, J. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of *Eucalyptus urophylla* clone BRS07-01. **Journal of Forestry Research**, v. 1, p. 1-13, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11676-018-0777-4.

BOGNOLA, I. A.; CLASEN, L. A.; FRANCISCON, L.; GAVA, J. L.; DEDECEK, R. A.; SILVA, F. M. da. Aplicação de silicatos de cálcio e de potássio e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 83-92, 2011. DOI: 10.4336/2011.pfb.31.66.83.

BRIME, P. S.; MEDRADO, R. D.; BONA, A. M.; FERRARI, M. P.; URIO, C. R. Influência de diferentes substratos no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus benthamii*. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 1., 2002, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. (Embrapa Florestas. Documentos, 70). Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/307289.

BRONDANI, G. E.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F.; WENDLING, I.; AZEVEDO, J. H.; HANSEL, F. A. Estabelecimento *in vitro* de segmentos nodais do híbrido *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ornamental Horticulture**, v. 13, p. 1115-1118, 2007a. DOI: https://doi.org/10.14295/oh.v13i0.1595.

BRONDANI, G. E.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F.; WENDLING, I.; AZEVEDO, J. H.; HANSEL, F. A. Multiplicação e alongamento do híbrido *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ornamental Horticulture**, v. 13, p. 1119-1122, 2007b. DOI: https://doi.org/10.14295/oh.v13i0.1596.

BRONDANI, G. E.; DUTRA, L. F.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; HANSEL, F. A.; ARAUJO, M. A. Micropropagation of an *Eucalyptus* hybrid (*Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 655-663, 2011. DOI: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.8317.

BRONDANI, G. E.; GROSSI, F.; WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; ARAUJO, M. A. Aplicação de IBA para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 667-674, 2010a. DOI: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.4879.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Propagação vegetativa de *E. benthamii* x *E. dunnii* por miniestaquia**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 42 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 183). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/657551.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAUJO, M. A. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*: (I) sobrevivência de minicepas e produção de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 11-21, 2012a. DOI: https://doi.org/10.5902/198050985075.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAUJO, M. A. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*: (II) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 453-465, 2010b. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/198050982060.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; BRONDANI, A. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L. da; GONÇALVES, A. N. Dynamics of adventitious rooting in mini-cuttings of *Eucalyptus benthamii* x *Eucalyptus dunnii*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 2, p. 169-178, 2012b. DOI: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i2.13059.

CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. O.; WENDLING, I.; MARTINS, R. C. C. Produção de mudas. In: SHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (org.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: UFSM, 2015. v. 1. p. 49-82.

CALDEIRA, M. V. W.; WENDLING, I.; PENCHEL, R. M.; GONÇALVES, E. O.; KRATZ, D.; TRAZZI, P. A. Principais tipos e componentes de substratos para produção de mudas de espécies florestais. In: CALDEIRA, M. V. W.; GARCIA, G. O.; GONÇALVES, E. O.; ARANTES, M. D. C; FIEDLER, N. C. (org.). **Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil**. Alegre, ES: Suprema, 2011a. v. 4. p. 51-100.

CALDEIRA, M. V. W.; WENDLING, I.; PENCHEL, R. M.; GONÇALVES, E. O.; KRATZ, D.; TRAZZI, P. A. Propriedades de substratos para produção de mudas florestais. In: CALDEIRA, M. V. W.; GARCIA, G. O.; GONÇALVES, E. O.; ARANTES, M. D. C; FIEDLER, N. C. (org.). **Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil**. Alegre, ES: Suprema, 2011b. v. 1. p. 141-160.

CARVALHO FILHO, M. R.; MELLO, S. C. M. de; SANTOS, R. P. dos; MENÊZES, J. E. **Avaliação de isolados de *Trichoderma* na promoção de crescimento, produção de ácido indolacético *in vitro* e colonização endofítica de mudas de eucalipto**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2008. 16 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 226).

COOPER, M. A.; GRACA, M. E. C. **Perspectivas para a maximização de enraizamento de estacas de *Eucalyptus dunnii* Maid**. Curitiba: EMBRAPA-CNPF, 1987. 9 p. (EMBRAPA-CNPF. Circular técnica, 12).

COOPER, M. A.; GRACA, M. E. C.; TAVARES, F. R. Enraizamento de estacas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. 15 p. (EMBRAPA-CNPF. Circular técnica, 22).

CUNHA, A. C. M. C. M.; WENDLING, I.; SOUZA JUNIOR, L. Produtividade e sobrevivência de minicepas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistema de hidroponia e em tubete. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 307-310, 2005.

DEKNES, L. B.; BITECOURT, G. A.; LAURA, V. A. Avaliação do crescimento de mudas de eucalipto sob diferentes doses de lodo de curtume. In: JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA GADO DE CORTE, 14., 2018, Campo Grande - MS. **[Resumos dos trabalhos]**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 70-71. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 258).

DIAS, P. C.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A.; WENDLING, I. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012. DOI: https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.72.453.

DRUMOND, M. A.; SOUZA, S. M. de. **Efeito do sombreamento na produção de mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1982. 10 p. Trabalho apresentado no I. Simpósio Brasileiro do Trópico Semi-Árido, Olinda, PE, 1982.

DUTRA, L. F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. A micropropagação de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 1, p. 49-59, 2009.

DUTRA, L. F.; WENDLING, I. Micropropagação e microestaquia de eucalipto. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (org.). **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. v. 1. p. 83-119.

DUTRA, L. F.; WENDLING, I. Micropropagação e microestaquia de eucalipto. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (org.). **Produção de mudas de eucalipto**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. v. 1. p. 76-103.

FERRARI, M. P.; GROSSI, F.; WENDLING, I. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 19 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 94). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/16839/1/doc94.pdf.

FERRIANI, A. P.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I. Minicuttings technique applied to forest species. **Agroambiente**, v. 4, n. 2, p. 102-109, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/01047760201925032647.

FOWLER, J. A. P.; BIANCHETTI, A. **Dormência em sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 27 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 40). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/290718.

FOWLER, J. A. P. Superação de dormência e armazenamento de sementes de espécies florestais. In: GALVAO, A. P. M. (org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia ; Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p. 77-100.

GRAÇA, M. E. C.; TAVARES, F. R. Propagação vegetativa de espécies florestais. In: GALVAO, A. P. M. (org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia ; Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p. 175-198.

GRATTAPAGLIA, D.; BERTOLUCCI, F. L.; SEDEROFF, R. R. Genetic mapping of QTLs controlling vegetative propagation in *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla* using a pseudo-testcross strategy and RAPD markers. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 90, n. 7-8, p. 933-947, 1995.

GUIMARÃES, D. P. **Instruções para a produção de mudas de eucalipto na propriedade rural**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 6 p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado técnico, 72).

HANSEL, F. A.; DUTRA, L. F.; WENDLING, I. **Ápices caulinares como alternativa para o resgate de matrizes adultas de *Eucalyptus benthamii* diretamente do campo**: resultados preliminares. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 153). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/312439.

HIGA, A. R.; MORA, A. L.; BERTOLOTI, G.; ODA, S.; CONÇALVES, A. N.; FERREIRA, M. Propagação vegetativa de progênies de *Eucalyptus urophylla* por borbulhia em janela aberta. **Silvicultura**, v. 8, n. 32, p. 794-795, 1983.

HIGA, R. C. V.; BORSSATO, I. **Propagação vegetativa por estaquia de espécies/procedências de *Eucalyptus***. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1983. 2 f. (EMBRAPA-URPFCS. Pesquisa em andamento, 31).

INOUE, M. T.; VIEIRA, J. D.; CORREA, G. Estudo comparativo do desempenho fotossintético entre mudas micropropagadas e estaqueadas de 4 clones do híbrido *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*. **Silvicultura**, v. 12, n. 42, t. 3, p. 493-496, 1992.

KRATZ, D.; NOGUEIRA, A. C.; WENDLING, I.; MELLEK, J. E. Physic-chemical properties and substrate formulation for *Eucalyptus* seedlings production. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 63-76, 2017. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.06.

KRATZ, D. **Substratos para produção de mudas de *Eucalyptus benthamii***: formulação e estimativa de propriedades físico-químicas por meio da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). 2015. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. **Ceres**, v. 63, n. 3, p. 348-354, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/0034-737X201663030011.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. D. de. Utilização de resíduos urbanos e agroflorestais para produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* e *Mimosa scabrella*. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 530-537, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.033.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 125-136, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i1.25989.

LAIA, M. L. de; GERHARDT, I. R.; ABAD, J. I. M.; DEGENHARDT-GOLDBACH, J.; GONÇALVES, J. F.; MISSIAGGIA, A. A. A biotecnologia e o eucalipto do futuro. In: VALE, A. B. do; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. (ed.). **Eucaliptocultura no Brasil**: silvicultura, manejo e ambiência. Viçosa, MG: SIF, 2014. p. 39-67.

LISBÃO JUNIOR, L. Comparação entre dois métodos de avaliação e análise dos dados de geada em mudas de *Eucalyptus viminalis* Labill. **Silvicultura**, v. 11, n. 41, p. 70, 1986b.

LISBÃO JUNIOR, L. Comparação entre dois métodos de avaliação e análise dos danos de geada em mudas de *Eucalyptus viminalis* Labill. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 13, p. 25-33, dez. 1986a.

LOHMANN, T. R.; MESQUITA FILHO, J. de; PAULINO, B. V.; YAMAMOTO, S.; LOPES, R. B.; FONSECA, E. D. da; MASCARIN, G. M. Efeito da aplicação de *Trichoderma harzianum* na supressão de doenças e no desenvolvimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 6.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 2., 2009, Curitiba. **Anais**: agricultura familiar e camponesa: experiências passadas e presentes construindo um futuro sustentável Curitiba: ABA: SOCLA, 2009. p. 1478-1482. CD-ROM.

MAEDA, S.; ANDRADE, G. de C.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; AGOSTINI R. B. Avaliação de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus badjensis* obtidos da compostagem de resíduos das indústrias madeireira e cervejeira e da caprinocultura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **A busca das raízes**: anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006a. 4 p. CD-ROM.

MAEDA, S.; ANDRADE, G. de C.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; AGOSTINI, R. B. Resíduos industriais e dejetos da caprinocultura como componentes de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus badjensis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 53, p. 3-20, 2006b.

MAEDA, S.; ANDRADE, G. de C.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; AGOSTINI, R. B. **Substratos alternativos para produção de mudas de *Eucalyptus badjensis*, obtidos a partir de resíduos das indústrias madeireira e cervejeira e da caprinocultura**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006c. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 157).

MAGALHÃES, C. A. de S.; MORALES, M. M.; REZENDE, F. A. de; LANGER, J. Eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados em mudas de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 80-85, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i4.52247.

MASCHIO, W. **Populações de minhocas em plantios de *Eucalyptus* spp e efeitos de *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidade) e *Amynthas gracilis* (Megascolecidae) sobre o crescimento de mudas de *Eucalyptus* spp em casa de vegetação**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MEIRELES, I. P.; LEAL, M. A. de A.; RESENDE, A. S. de; ROCHA, M. dos S. Resposta de mudas de eucalipto à diferentes dosagens e formulações de extratos de composto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 14.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 9.; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL, 1., 2012, Maceió. **A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola**: anais. Viçosa, MG: SBCS, 2012. FERTBIO 2012.

MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G. Aumento da qualidade de mudas de *Eucalyptus benthamii* tratadas com Bascol®. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais** [...]. [Curitiba]: Malinovski Florestal, 2012a. CD-ROM.

MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G. Avaliação do crescimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* após o uso de Bacsol®. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 14.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 9.; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL, 1., 2012, Maceió. **A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola**: Anais [...]. Viçosa, MG: SBCS, 2012. FERTBIO 2012b. 3 p. CD-ROM.

MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G. Teores de NPK em mudas de *Eucalyptus benthamii* tratadas com o produto Bacsol. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 14., 2015, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. p. 98-99. (Embrapa Florestas. Documentos, 278). Resumos.

MONTEIRO, P. H. R. **Efeito de Bacsol sobre o crescimento e teor de macronutrientes em mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MONTEIRO, P. H. R.; WINAGRASKI, E.; AUER, C. G. Efeito de produto biotecnológico nos teores de nutrientes e CUB em mudas de *Eucalyptus benthamii*. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 5., 2015, Curitiba. **Novas tecnologias florestais**: anais. [Curitiba]: Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal, 2015. 10 p. Disponível online.

MOURA, V. P. G.; GUIMARÃES, D. P. **Produção de mudas de *Eucalyptus* para o estabelecimento de plantios florestais**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003. 9 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado técnico, 85).

MOURA, V. P. G. **Influência da altitude no tamanho de sementes e no crescimento de mudas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1983. 20 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de pesquisa, 17).

MYBURG, A. A.; GRATTAPAGLIA, D.; TUSKAN, G. A.; HELLSTEN, U.; HAYES, R. D.; GRIMWOOD, J.; GOODSTEIN, D. M. The genome of *Eucalyptus grandis*. **Nature,** v. 510, n. 7505, p. 356-362, 2014. DOI: https://doi.org/10.1038/nature13308.

OLIVEIRA, C.; DEGENHARDT-GOLDBACH, J.; BETTENCOURT, G. M. de F.; AMANO, E.; FRANCISCON, L.; QUOIRIN, M. Micropropagation of *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* AEC 224 clone. **Journal of Forestry Research**, v. 28, p. 29-39, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11676-016-0282-6.

OLIVEIRA-CAUDURO, Y. de; ADAMUCHIO, L. G.; BESPALHOK FILHO, J. C.; GERHARDT, I. R.; DEGENHARDT-GOLDBACH, J.; BERNARDES, M.; QUOIRIN, M. Optimization of factors affecting the Agrobacterium tumefaciens mediated transformation of Eucalyptus saligna. **Revista Árvore**, v. 41, p. 1-9, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-90882017000300015.

OLIVEIRA, Y.; ADAMUCHIO, L.; DEGENHARDT, J.; BESPALHOK FILHO, J.; DIBAX, R.; QUOIRIN, M. Organogênese indireta a partir de explantes foliares e multiplicação in vitro de brotações de *Eucalyptus benthamii* X *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 347-355, 2014. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509814572.

PINTO JÚNIOR, J. E.; FERREIRA, C. A. **A pesquisa florestal na Embrapa 1978-1993**: versão preliminar. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. (Embrapa Florestas. Documentos, 171).

PIRES, P. P. **Influência das oscilações climáticas na miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii***. 2015. 89 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

PIRES, P. P.; WENDLING, I.; SOUZA, A. M. de; COELHO, A. S. G. Oscilaciones del clima en la producción de brotes en mini-jardín clonal de *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii*. **Bosque**, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2017. DOI: https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000300006.

QUEIROZ, D. L. de; CAMARGO, J. M. M.; DEDECEK, R. A.; OLIVEIRA, E. B. de; ZANOL, K. M. R.; MELIDO, R. C. N. Absorção e translocação de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 632-640, 2018. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509832053.

QUISEN, R. C.; de OLIVEIRA, Y.; PILEGGI, M.; CUQUEL, F.; QUOIRIN, M. Selective agent and A. tumefaciens overgrowth-control antibiotics in *Eucalyptus camaldulensis* Cotiledonary culture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, p. 1485-1492, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000600020.

RODRIGUES, D. M. de S.; MELEM JUNIOR, N. J.; BORGES, W. L. Influência de sedimentos do Rio Amazonas no desenvolvimento de mudas de espécies florestais. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAPÁ, 2., 2016, Macapá. **Resumos** [...]. Macapá: Embrapa Amapá, 2016. p. 34.

ROSA, L. S. **Adubação nitrogenada e substratos na miniestaquia de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROSA, L. S.; GROSSI, F.; WENDLING, I.; REISSMANN, C. B. Efeito do nitrogênio no estado nutricional e na produção de biomassa em minicepas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Cerne**, v. 13, p. 17-22, 2007.

ROSA, L. S.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; REISSMANN, C. B. Efeito da dose de nitrogênio e de formulações de substratos na miniestaquia de *Eucalyptus dunnii* MAIDEN. **Revista Árvore**, v. 33, p. 1025-1035, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000600005.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; BOGNOLA, I. A.; WESTPHALEN, D. J.; MILANI, J. E. de F. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 85-96, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rf.v45i1.31224.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 138 p. (TT florestal: transferência de tecnologia florestal).

SANTOS, D. C. dos; WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; FRACARO, L. C. **Alongamento in vitro de *Eucalyptus urophylla***. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 120). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/310403.

SANTOS, R. P.; CARVALHO FILHO, M. R.; MARTINS, I.; MELLO, S. C. M. de. **Avaliação de isolados de *Trichoderma* spp. e *Gliocladium virens* na promoção de crescimento em mudas de eucalipto e na produção de ácido indolacético in vitro**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2008. 9 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 232).

SASS, A. L.; SANTOS, D. E. C. dos; MAEDA, S.; MAIA, C. M. B. de F. Efeito de carvão vegetal em substratos para a produção de mudas de eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 55-59.

SILVA, H. D. da; SOUZA, S. M. de; PIRES, I. E. Influência da espessura e tipo de material de cobertura na produção de mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Silvicultura**, v. 8, n. 28, p. 494-496, 1983.

SILVEIRA, R. L. V. de A.; MOREIRA, A.; HIGASHI, E. N. Crescimento e sobrevivência de mudas de eucalipto sob doses de boro cultivadas em condições de viveiro e de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p. 366-371, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000200017.

SOUZA, A. F. **Crescimento, alocação de biomassa e eficiência de uso de água por mudas de *Eucalyptus urograndis*, *Tabebuia impetiginosa*, *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata***. 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

SOUZA JUNIOR, L.; WENDLING, I.; HIGA, R. C. V. Resgate de indivíduos adultos selecionados de *Eucalyptus viminalis* por estaquia. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 1., 2002, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 70). Resumo 19.

SOUZA JÚNIOR, L.; WENDLING, I. **Miniestaquia de *Eucalyptus dunnii* utilizando propágulos juvenis**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 3 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 108).

SOUZA JUNIOR, L.; WENDLING, I. Propagação vegetativa de *Eucalyptus dunnii* via miniestaquia de material juvenil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 46, p. 21-30, 2003.

SOUZA, S. M.; CÂNCIDO, J. F. **Efeito de diferentes tipos de cobertura e quantidade de substrato na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill esi Waiden)**. Viçosa, MG: UFV; Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1977. Não paginado.

SOUZA, S. M. de; SILVA, H. D. da; RIBASKI, J. **Como produzir mudas de eucalipto**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1981. 3 p. (EMBRAPA-CPATSA. Comunicado técnico, 4).

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, R. B.; SCHIEDECK, G. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 75-82, 2011. DOI: https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.75.

STUEPP, C. A.; WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; KOEHLER, H. S.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. The use of auxin quantification for understanding clonal tree propagation. **Forests**, v. 27, n. 8, p. 333-342, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/f8010027.

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. Produção de mudas de espécies florestais. In: REFLORESTAMENTO de Propriedades Rurais para fins Produtivos e Ambientais. Brasília, DF: Embrapa, 2000. p.125-150.

STURION, J. A.; GRAÇA, L. R.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies de rápido crescimento por pequenos produtores**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 20 p. (Embrapa Florestas. Circular Técnica, 37). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/289921.

STURION, J. A. **Métodos de produção e técnicas de manejo que influenciam o padrão de qualidade de mudas de essências florestais**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. 18 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 3).

STURION, J. A. Produção de sementes florestais melhoradas. In: GALVAO, A. P. M. (org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p. 71-76.

TAVARES, F. R.; GRAÇA, M. E. C. Materiais e procedimentos para a produção de mudas por estaquia. In: GALVAO, A. P. M. (org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Colombo: Embrapa Florestas, 2000. p. 199-208.

TEIXEIRA, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; DEZORDI, C. *Eucalyptus* sp. seedling response to potassium fertilization and soil water. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 47-63. 2008.

TRUEMAN, S. J.; HUNG, C. D.; WENDLING, I. Tissue culture of *Corymbia* e *Eucalyptus*. **Forests**, v. 9, n. 2, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/f9020084.

WENDLING, I.; BROOKS, P. R.; TRUEMAN, S. J. Topophysis in *Corymbia torelliana* x *C. citriodora* seedlings: adventitious rooting capacity, stem anatomy, and auxin and abscisic acid concentrations. **New Forests**, v. 46, p. 107-120, 2015a. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-014-9451-7.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 54 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 130). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/314506.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por estaquia e miniestaquia. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (org.). **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010a. p. 49-80.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por estaquia e miniestaquia. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (org.). **Produção de mudas de eucalipto**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017a. p. 47-75.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F (org.). **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010b. p. 13-47.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. (org.). **Produção de mudas de eucalipto**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017b. p. 13-46.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010c. 184 p.

WENDLING, I.; FERRARI, M. P.; GROSSI, F. **Curso intensivo de viveiros e produção de mudas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 48 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 79).

WENDLING, I. Hormônios e reguladores de crescimento: realidades e mitos na clonagem de eucalipto. **Opiniões**, v. 10, n. 34, p. 32-34, 2014.

WENDLING, I. **Propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia**. 1999, 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WENDLING, I. **Rejuvenescimento de clones de *Eucalyptus grandis* por miniestaquia seriada e micropropagação**. 2002. 91 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry - Part I: concepts, regulation and consequences of phase change. **New Forests**, v. 45, p. 449-471, 2014a. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-014- 9421-0.

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry - Part II: reinvigoration, rejuvenation and juvenility maintenance. **New Forests**, v. 45, p.473-486, 2014b. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-014-9415-y.

WENDLING, I.; WARBURTON, P. M.; TRUEMAN, S. J. Maturation in *Corymbia torelliana* x *C. citriodora* stock plants: Effect of pruning height on shoot production, adventitious rooting capacity, stem anatomy, and auxin and abscisic acid concentrations. **Forests**, v. 6, p. 3763-3778, 2015b. DOI: https://doi.org/10.3390/f6103763.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Gradiente de maturação e rejuvenescimento aplicado a espécies florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n.1, p. 187-194, 2001.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência da miniestaquia seriada no vigor radicular de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 681-689, 2005a.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência do ácido indolbutírico e da miniestaquia seriada no enraizamento e vigor de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 921-930, 2005b.

WENDLING, I.; XAVIER, A.; PAIVA, H. N. Influência da miniestaquia seriada no vigor de minicepas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 611-618, 2003.

XAVIER, A.; ANDRADE, H. B.; OLIVEIRA, M. L.; WENDLING, I. Desempenho do enraizamento de microestacas e miniestacas de clones de híbrido de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 25, n. 4, p. 403-411, 2001.

XAVIER, A.; WENDLING, I. **Miniestaquia na clonagem de *Eucalyptus***. Viçosa, MG: SIF, 1998. 10 p. (Informativo Técnico SIF, 11).

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. Viçosa, MG: UFV, 2009. 272 p.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. 279 p.

23

SisEucalipto e SisILPF_Eucalipto: softwares para manejo de precisão de espécies de eucalipto em monocultivo e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

Edilson Batista de Oliveira

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O desenvolvimento de simuladores de crescimento, produção e manejo florestal pela Embrapa Florestas teve início na década de 1980. Com forte apoio de empresas florestais privadas e públicas, diversos softwares foram criados, inicialmente em linguagem Pascal e, posteriormente, Delphi.

O software SisEucalipto foi lançado pela Embrapa Florestas no ano 2000, no *Congresso e Exposição Internacional sobre Florestas* - Forest 2000. A primeira versão contemplou *Eucalyptus grandis* e os dados utilizados para a sua elaboração foram cedidos pela Klabin, extraídos de populações comerciais da espécie crescendo no município de Telêmaco Borba, PR. Os dados de crescimento e sobrevivência de árvores foram provenientes de 228 parcelas amostradas em povoamentos com idades entre 3 e 22 anos (Oliveira et al., 2000). Com muitos povoamentos implantados antes de 1980, a Klabin era uma das únicas empresas que possuíam registros de dados de eucaliptos manejados com mais de 20 anos de idade, em número de talhões necessários, extensão de área e avaliações periódicas que possibilitassem a construção dos algoritmos componentes do software. Posteriormente, utilizando-se dados de diversas localizações, foram desenvolvidas versões do SisEucalipto para *E. dunnii*, *E. saligna*, *E. benthamii* e para o híbrido ”urograndis” (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*).

Para sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF), a Embrapa construiu o SisILPF_Eucalipto, lançando a versão para ”urograndis” em 2018, na Expoforest e IV Encontro Brasileiro de Silvicultura (Oliveira, 2018b), eventos ocorridos em Ribeirão Preto, SP.

SisEucalipto e SisILPF_Eucalipto orientam produtores rurais com tecnologias adequadas para o manejo florestal de precisão. O objetivo é dar suporte às atividades de planejamento, manejo e análise econômica da plantação florestal, em cultivo homogêneo ou em sistemas de ILPF. Por meio deles, os usuários podem testar, para cada condição de clima e solo, todas as opções de manejo da floresta.

Os softwares descrevem, por meio de tabelas contendo dados de crescimento e de produção e tabelas com dados de sortimento de madeira, como uma plantação de eucalipto cresce e produz, conforme os regimes de manejo indicados pelo usuário.

Utilizando técnicas estatísticas fundamentadas em distribuições probabilísticas, com parâmetros ajustados com ampla base de dados de medições de povoamentos florestais, os softwares possibilitam que os produtores façam prognoses de produções presente e futura, efetuem análises econômicas e, assim, tenham cenários que sirvam de base para levar ao campo apenas a melhor alternativa técnica e econômica.

Eles são ferramentas de análise que orientam produtores rurais com tecnologias adequadas para o manejo e planejamento florestal, fornecendo informações que permitam otimizar a produção e aumentar a renda. Também calculam o carbono

sequestrado pelas árvores e dão acesso ao software Planin, que gera parâmetros para análise econômica da produção florestal (Oliveira, 2011).

Neste capítulo são apresentados detalhes do SisEucalipto e do SisILPF_Eucalipto, com destaque para novos lançamentos de versões específicas para *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*, espécies que têm apresentado elevadas produtividades em áreas sujeitas à ocorrência de geadas, na região Sul do Brasil.

Elementos do manejo florestal utilizados pelos softwares

Os softwares propiciam prognoses do crescimento e indicam o quanto de madeira a floresta produz, em qualquer idade. Também possibilitam simular desbastes e testar qualquer regime de manejo que se deseja aplicar nos povoamentos avaliados. Os cálculos envolvem os parâmetros e índices mais utilizados no manejo de florestas plantadas. São eles:

Altura dominante e índice de sítio

Altura dominante possui diversas definições, todas considerando a medição da altura de árvores da parte superior do dossel, ou seja, das classes dominantes e codominantes. O princípio de Assmann (1970) define altura dominante como sendo o valor médio das alturas das 100 árvores de maior diâmetro por hectare. Pode ser obtida pela média das 100 árvores mais altas ou, ainda, média da altura de 20% das árvores de maior diâmetro ou altura do povoamento. Em uma parcela de inventário de 400 m², tem sido usual considerar altura dominante como a altura média das quatro árvores mais altas ou de maior diâmetro.

Índice de sítio indica a capacidade de produção de um determinado local (sítio é a área onde se encontra a plantação florestal). Ele pode ser calculado usando a altura dominante em uma idade fixada (Idade índice), por exemplo, sete anos para eucalipto.

O índice de sítio é o primeiro item solicitado pelos softwares. Trata-se de uma informação básica para que os algoritmos gerem resultados para a condição específica do povoamento estudado. O manual explica com detalhes como ele é obtido e apresenta tabelas de Classificação de Sítios que auxiliam os usuários com as informações necessárias para enquadramento do software ao potencial produtivo de cada plantação. Estas tabelas contemplam, em uma escala crescente, desde os sítios com menor potencial de produtividade até os mais produtivos que foram encontrados nas regiões de plantio da espécie trabalhada.

Diâmetro à altura do peito (DAP) e área basal por hectare

O diâmetro à altura do peito (DAP) é obtido pela medição do diâmetro do tronco das árvores a 1,3 metro de altura do solo. Com dados de medição do DAP, pode ser calculada a área seccional de cada árvore à altura do peito (1,3 m). Com o somatório das áreas seccionais de todas as árvores contidas em um hectare, pode ser obtida a área basal por hectare do povoamento.

Índice de homogeneidade do plantio

Trata-se de um índice criado especificamente para aumentar a precisão dos softwares. O usuário indica um valor de 1 a 10 para a homogeneidade do seu plantio. Este valor pode ser baseado em medidas estatísticas (como variância e coeficiente de variação) ou alguma medida empírica, como simplesmente notas de 1 a 10. Plantios clonais nem sempre têm valor 10 porque o índice envolve, além de variabilidade genotípica, a variabilidade no sítio (Oliveira, 2011).

Equações de sítio, volume e sortimento

Os softwares possuem equações de sítio, de volume e de sortimento que podem ser substituídas pelo usuário por outras que ele considere mais apropriadas para seus povoamentos.

As equações de sítio descrevem o crescimento em altura dominante da espécie em função do potencial de produtividade do sítio (local) em que se encontra o povoamento.

Equações de volume das árvores ou de plantações florestais geralmente são baseadas no DAP, na altura da árvore e em um fator de forma que representa a divisão do volume real da árvore pelo volume de um cilindro de diâmetro e altura da árvore.

As equações de sortimento (ou equações de afilamento do fuste) descrevem matematicamente o perfil longitudinal de um tronco. Elas permitem construir tabelas de volume para diferentes dimensões de toras, de acordo com padrões estabelecidos pelo mercado, conforme mostra a Figura 1. O diâmetro listado como limite da classe

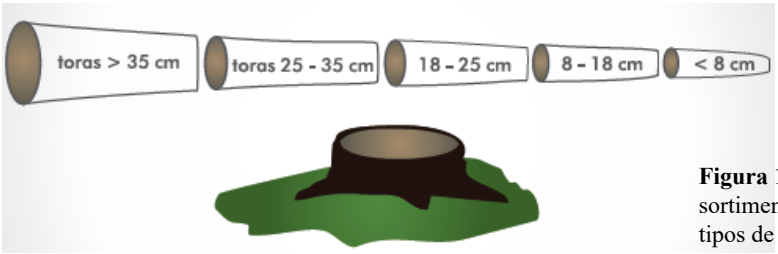


Ilustração: Luciane Jaques

Figura 1. Tronco com sortimento em função de tipos de tora.

é o da secção mais fina (menor diâmetro) da tora. A delimitação do comprimento das toras também é uma informação necessária para a realização do sortimento das árvores.

Índice de Hart-Becking e o modelo de Reineke

O índice de Hart-Becking é a relação entre o espaçamento médio entre árvores e a altura dominante.

O modelo de Reineke gera uma curva de área basal em relação ao número de árvores por hectare para plantações superestocadas, que representa a máxima densidade que o povoamento terá numa condição de ocupação completa ou estoque completo. Este modelo possibilita a construção de um Diagrama de Manejo da Densidade (DMD) para orientar decisões sobre o manejo.

Desbastes

Desbastes de uma plantação florestal (em monocultivo ou ILPF) são colheitas antecipadas e parciais, que buscam melhorar a qualidade do povoamento, reduzir a densidade de plantio, diminuir a competição entre as árvores e antecipar renda ao produtor pela venda da madeira de desbaste. Entre as árvores a serem desbastadas estão aquelas de qualidade inferior (dominadas, bifurcadas, tortas e doentes).

Os tipos, intensidades e épocas de desbastes irão variar em função de fatores tais como: objetivo industrial da produção, qualidade do local (solo, clima), material genético, espaçamento e densidade de plantio. Deve-se buscar um bom aproveitamento dos espaços disponíveis no povoamento (distribuição mais uniforme das árvores após desbasates), evitando-se a formação de clareiras, e considerar fatores como os objetivos da produção e a maximização da rentabilidade econômica.

Os softwares contemplam opções de desbastes dos tipos Sistemáticos, Seletivos e Mistos (Sistemáticos seguidos de Seletivos), que são definidos e sugeridos por Oliveira (1995):

- Sistemáticos: quando se removem as árvores a partir de um esquema fixo de escolha, em função da disposição no povoamento. Por exemplo, a remoção de uma fileira inteira de árvores, intercalada com outras fileiras que permanecem intactas. Neste desbaste as árvores não possuem critério de remoção baseado em tamanho. Assim, podem ser desbastadas árvores em todas as classes de DAP e altura.
  A maneira mais comum de realização dos desbastes sistemáticos é a colheita de linhas de plantio inteiras. Isto facilita colheitas mecanizadas, possibilita acesso para a realização de desbastes seletivos e facilita a remoção e o transporte das árvores.

Entretanto, não necessariamente um desbaste sistemático tem que ser feito por linhas. Na sistematização, teoricamente as árvores retiradas terão média e variância equivalentes àquelas do povoamento. Assim, as dimensões das árvores desbastadas equivalem a amostras ao acaso no povoamento. Desta forma, este tipo de desbaste pode receber, também, a denominação de "Desbaste ao Acaso".

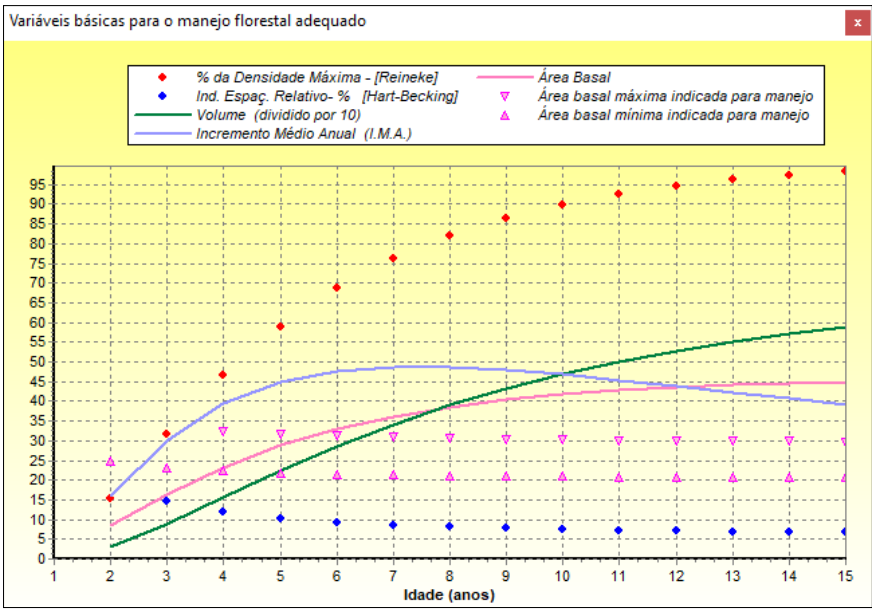
- Seletivos por baixo: removem-se as menores árvores do povoamento. Tanto o diâmetro quanto a altura podem ser usados como variáveis na escolha das árvores a serem removidas. Nos desbastes seletivos, a forma contemplada, pelo SisEucalipto é "Seletivo por baixo", em que são removidas as menores árvores. Os softwares selecionam as dimensões das árvores a serem desbastadas levando em conta, simultaneamente, DAP e Altura. Assim, uma árvore com DAP inferior pode ser mantida caso sua altura seja competitiva.
- Mistos: denominado assim o desbaste em que se processa primeiro o desbaste sistemático e, em seguida, nas linhas remanescentes, o seletivo.
- Seletivo pelo alto ou seletivo por copas: apesar de os softwares gerarem resultados diretos apenas para regimes de manejo que envolvam os três métodos citados, a aplicação de simulações para desbastes "Mistos" possibilita a obtenção de resultados para desbaste "Seletivo pelo Alto" ou "Seletivo por Copas". Este desbaste procura preservar as árvores melhores, sendo cortadas suas concorrentes diretas, sempre com foco na sua boa distribuição espacial no talhão, evitando clareiras.

Gráfico do SisEucalipto para avaliação de desbastes e manejo de precisão

O índice de Hart-Becking e o modelo de Reineke têm grande apli*cação na de*terminação de pesos em desbastes. O gráfico gerado pelos softwares apresenta a evolução dos valores do índice (pontos azuis) e do percentual de ocupação do sítio pelo povoamento analisado ao longo do tempo, mostrando faixas adequadas para desbastes, tendo por base o modelo de Reineke. A linha rosa deve ficar entre os triângulos rosa, de modo que a área basal do povoamento se localize entre a área basal mínima e máxima recomendada para o manejo. Assim, torna-se simples e de fácil aplicação e interpretação esta forma compacta de apresentar o Diagrama de Manejo da Densidade (DMD). Na Figura 2 é apresentado graficamente um exemplo para o híbrido "urograndis" em que A) representa o plantio de 1.667 árvores sem desbaste e B) 1.667 árvores com dois desbastes de 50%, aos 6 e 10 anos.

O gráfico auxilia na definição do manejo adequado. O manejo para manutenção da área basal na faixa para desbaste, como no caso da Figura 2, induz a perdas na produção total (IMA), entretanto promoverá maior produção de toras de maior diâmetro e, com isso, de maior valor no mercado.

a) Povoamento sem desbaste



b) Povoamento com dois desbastes

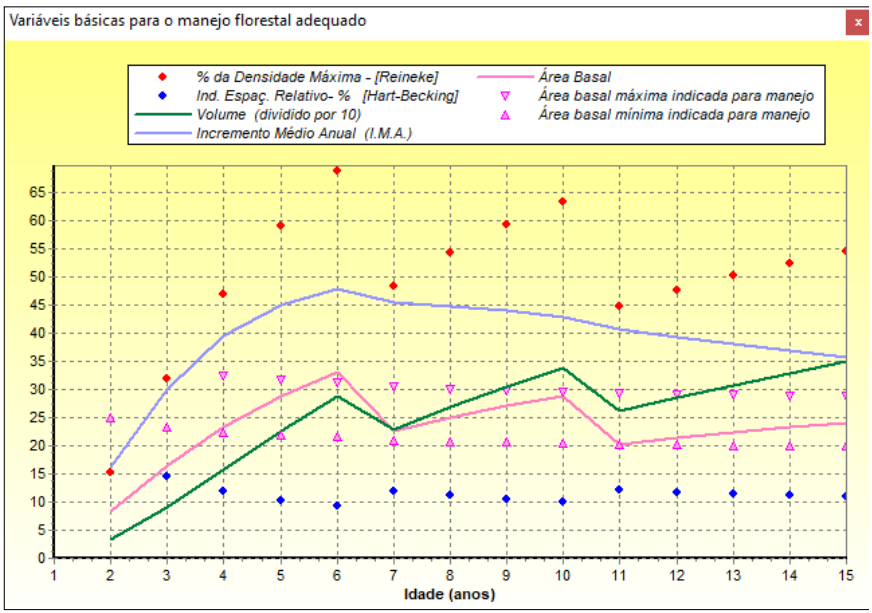


Figura 2. Gráficos gerados pelo SisEucalipto A) 1.667 árvores sem desbastes e B) 1.667 árvores com dois desbastes de 50% aos 6 e 10 anos.

A base estatística dos softwares

Todos os SisEucaliptos foram construídos com base em distribuições probabilísticas, projetando ano a ano a estrutura de cada plantação, envolvendo simultaneamente os parâmetros das distribuições.

Os algoritmos são baseados nas distribuições probabilísticas S_B e S_B bivariada (S_{BB}), conforme Hafley e Buford (1985), Hafley e Schreuder (1977), Schreuder e Hafley (1977). A distribuição S_B descreve a distribuição marginal da variável diâmetro ou altura de árvores de um povoamento em diferentes idades e a S_{BB} descreve a distribuição conjunta destas variáveis.

A função de distribuição S_B é expressa por:

$$f(x) = \frac{\delta\lambda}{\sqrt{2\pi}(x - \xi)(\xi + \lambda - x)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta\ln\left(\frac{(x - \xi)}{(\xi + \lambda - x)}\right)\right]^2\right\}$$

A construção da distribuição S_{BB} é baseada na distribuição S_B, juntamente com a distribuição Normal Bivariada.

Considerando-se D e H o DAP e a altura total das árvores, respectivamente, tem-se:

$$z_D = \gamma_D + \delta_D \ln\left(\frac{(x_D - \xi_D)}{\lambda_D + \xi_D - x_D}\right) \quad \text{e} \quad z_H = \gamma_H + \delta\ln\left(\frac{(x_H - \xi_H)}{\lambda_H + \xi_H - x_H}\right)$$

em que z_D e z_H têm distribuição Normal Bivariada com correlação .

$$f(z_D, z_H) = \left[2\pi(1 - \rho^2)^{1/2}\right]^{-1} \exp\left[-\frac{1}{2}(1 - \rho^2)^{-1}(z_D^2 - 2\rho z_D z_H + z_H^2)\right]$$

Os parâmetros ξ_D e ξ_H representam, respectivamente, os valores mínimos de D e H na população; λ_D e λ_H representam as amplitudes de D e H. Os parâmetros γ_D, γ_H, δ_D e δ_H não podem ser relacionados às características individuais do povoamento florestal, mas sim pelas seguintes expressões:

$$\hat{\delta} = \frac{\lambda}{4\sigma_x} \quad \text{e} \quad \hat{\gamma} = \frac{2x_m - \xi - \lambda}{\lambda\delta} - \delta\ln\left(\frac{x_m - \xi}{\lambda + \xi - x_m}\right)$$

em que σ_x = desvio padrão de x ($x = H$ ou D) e x_m = moda de x.

O valor de X_m é definido pelo valor de x que satisfaz a expressão:

$$\frac{2(x - \xi)}{\lambda} - 1 = \delta \left[\gamma + \delta \ln \left(\frac{(x - \xi)}{(\lambda + \xi - x)} \right) \right]$$

Para a elaboração do modelo de crescimento e produção, as estimativas dos parâmetros foram associadas, por meio de funções, ao número de árvores por hectare (S) e à altura dominante (H_D) ou idade do povoamento, utilizando-se o modelo de Richards:

Parâmetro de interesse = $f_1(S)\{1 - \exp[H_D f_2(S)]\}^{f_3(S)}$

Equações para a estimativa dos parâmetros da distribuição S_{BB}:

$H_D = \exp\{a_1[(1/A)^{b_1} - (1/15)^{b_1}]\}IS$

$H_m = H_D(a_2 + b_2 A)$

$H_1 = H_D a_3[1 - \exp(-b_3 A)]$

$S_H = a_4[1 - \exp(-b_4 A)]^{c_4}$

$D_H = a_5[1 - \exp(-b_5 A)]^{c_5}$

$D_m = D_D a_6[1 - \exp(-b_6 H_D)]$

$D_1 = D_D a_7[1 - \exp(-b_7 H_D)]^{c_7}$

$S_D = a_8[1 - \exp(-b_8 H_D)]^{c_8}$

$\rho(Z_D, Z_H) = a_9 + b_9 \cos(c_9 H_D) + d_9 H_D$

Em que:
IS = índice de sítio;
H_D = altura dominante;
A = idade do povoamento;
D_D = maior diâmetro;
H_m e D_m = moda das alturas e dos diâmetros;
H_1 e D_1 = menor altura e menor diâmetro;
S_H e S_D = desvios padrões das alturas e dos diâmetros;
a_i, b_i e c_i (i = 1,2...9) são equações para cada parâmetro, com variável independente baseada no número de árvores por hectare.

Novas versões dos softwares para áreas com ocorrência de geadas

Em áreas com ocorrência de geadas na região Sul do Brasil, as espécies *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* têm apresentando elevadas produtividades. Além de tolerar baixas temperaturas, elas possuem uma série de requisitos favoráveis para o monocultivo e, principalmente, para sistemas ILPF. Destacam-se entre estes requisitos o rápido crescimento, fuste alto e copas pouco densas, fácil obtenção de mudas, práticas culturais conhecidas, preservação de boa quantidade de folhas no inverno, boa acomodação do gado para conforto térmico, permitem liberar os animais com um ou dois anos de plantio e produzem madeira para diferentes finalidades.

O potencial de expansão de plantios destas espécies nas regiões de ocorrência de geadas é bastante elevado, principalmente considerando a integração com a pecuária. Nos sistemas ILPF, o eucalipto tem prestado excelentes serviços ambientais, que aumentam a produção de carne e leite e gerado renda aos produtores com a madeira produzida.

As novas versões dos softwares para estas espécies, em monocultivo e sistema ILPF, dão suporte técnico para que os produtores planejem e adotem técnicas de manejo aos seus cultivos. Os softwares fornecem os procedimentos operacionais detalhados nos seus respectivos manuais. Alguns destes procedimentos, bem como os resultados gerados, são apresentados a seguir, tendo por base o SisILPF para *E. benthamii*. Para isto, considera-se um sistema de ILPF (Exemplo 1) com renques de três linhas de árvores, espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre árvores, e a distância entre renques de 20 m. O arranjo proposto resulta, assim, em 577 árvores plantadas por hectare. Será aplicado um desbaste seletivo de 50% das menores árvores aos seis anos de idade e a colheita final aos 12 anos. Na Figura 3, é apresentado o menu principal do SisILPF contendo os botões e itens que dão acesso às operações do software. O valor do índice de sítio para o Exemplo 1 é de 25 m, obtido pela altura dominante aos sete anos de idade.

O item "Equações" apresenta os subitens Sítio, Volume e Sortimento. Os três possuem equações básicas que podem ser substituídas caso o usuário possua modelos que considere mais adequados. Observa-se, também, o item "Diâmetro de toras e sortimento", pelo qual são informados os tipos de produto e respectivas dimensões das toras (Ex: Serraria com diâmetro mínimo maior que 18 cm). Nos "Catálogos", as opções "Produtos" e "Fórmulas" permitem armazenar alternativas para estes itens, que podem ser utilizados nas simulações em função de opções do usuário.

O SisILPF possui três opções de entrada de dados. No Exemplo 1, será utilizada a opção em que é informado apenas o arranjo de plantio, o número de árvores por hectare e o índice de sítio. As outras duas opções de entrada de dados utilizam informações de parcelas de inventário em qualquer idade de plantio e, portanto, podem gerar resultados mais precisos (Figura 4).

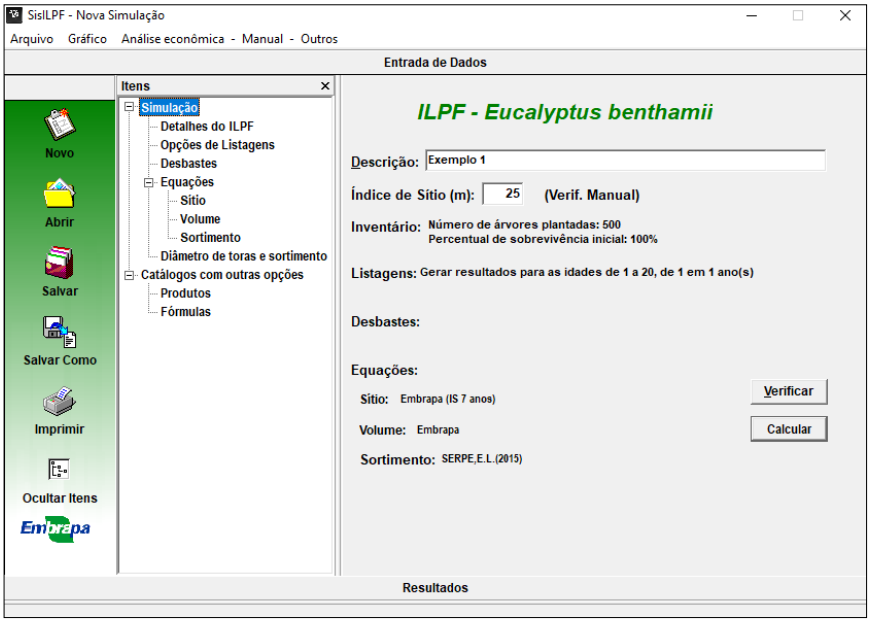


Figura 3. Tela de abertura do SisILPF.

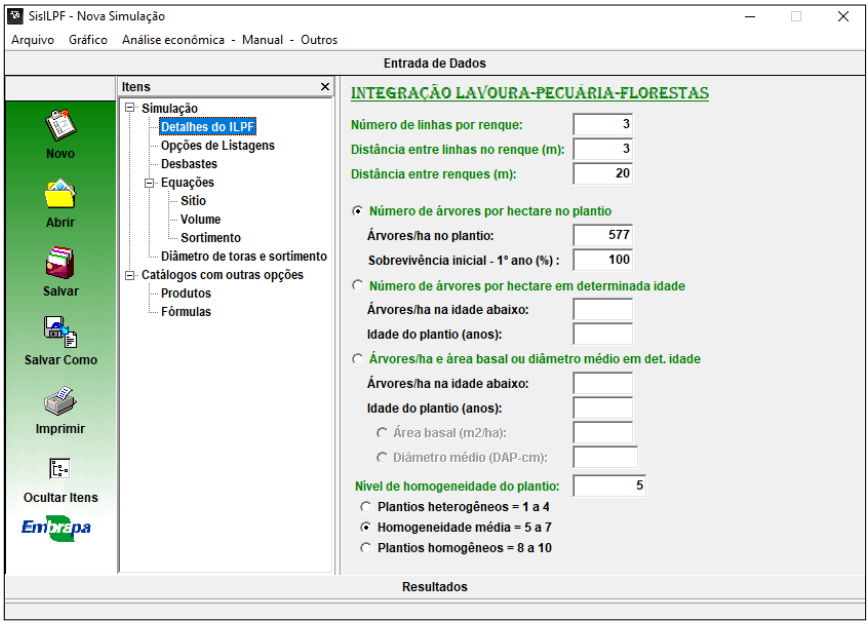


Figura 4. Tela com detalhes do sistema de ILPF do Exemplo 1.

A aplicação de desbastes (Figura 5) oferece três opções: “1. Desbaste Seletivo” (colheita das menores árvores), “2. Desbaste Sistemático” (colheita que não considera o tamanho das árvores. Pode ser ao acaso ou sistematizada, por exemplo, de uma árvore a cada três na linha), e “3. Desbaste Sistemático seguido de Seletivo”

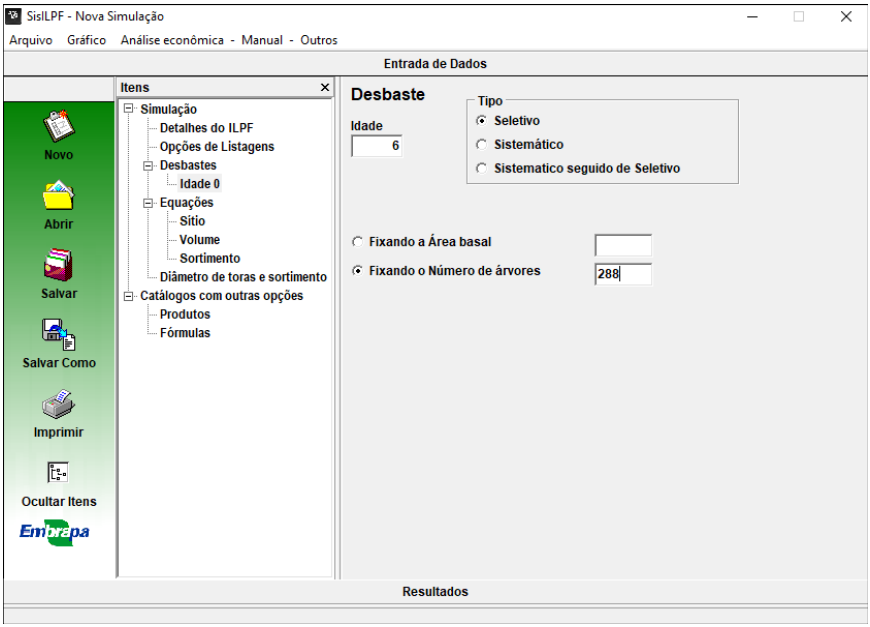


Figura 5. Tela com informações sobre desbaste (Exemplo 1).

A indicação da Intensidade do desbaste pode ser feita pela Área Basal ou Número de Árvores por Hectare. Nos dois casos, indica-se o que ficará de remanescente após o desbaste e não o que será desbastado.

Para o sortimento da produção madeireira do Exemplo 1, as toras terão 2,5 metros de comprimento com as seguintes classes de diâmetro: “Toras > 18 cm”, “Toras de 8 a 18 cm” e “Toras < 8 cm”. Estas informações são inseridas em tela apresentada na Figura 6.

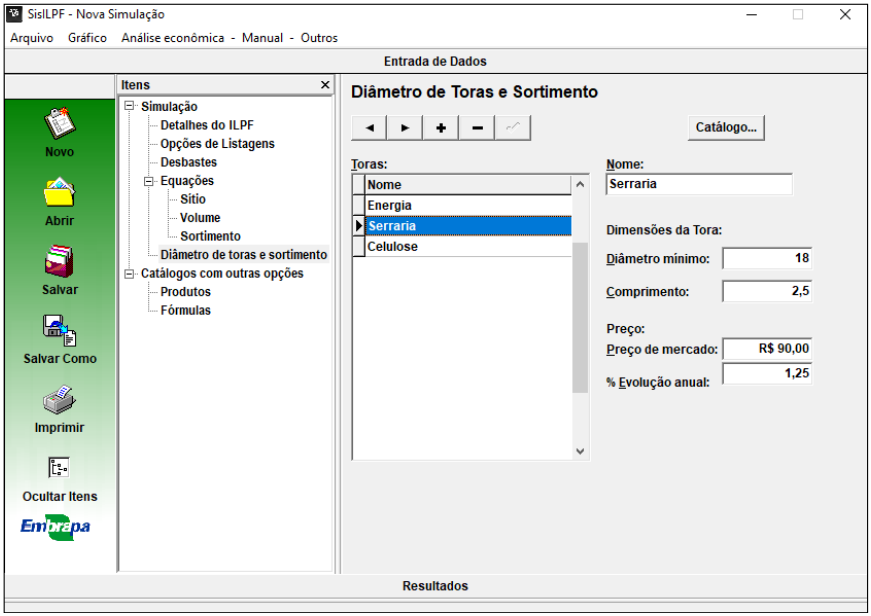
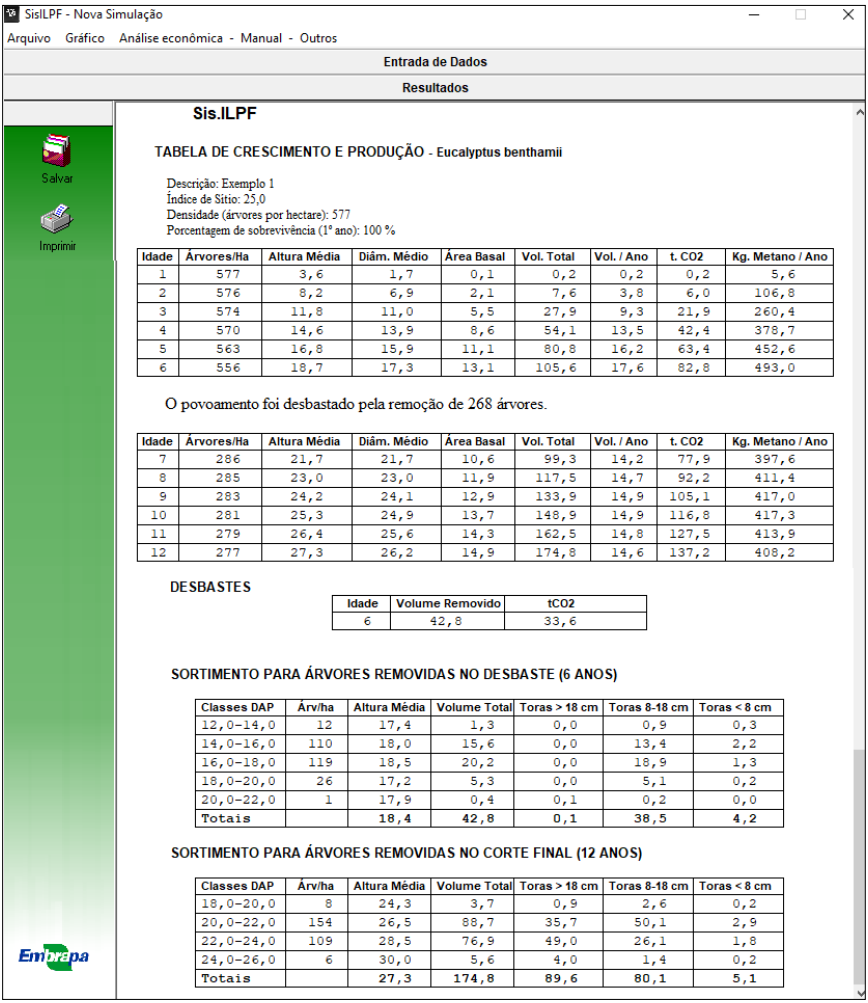


Figura 6. Tela para dimensionamento de toras para sortimento.

Os resultados (Figura 7) apresentam os valores por hectare das diversas variáveis que descrevem a estrutura do componente florestal. O dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) constituem-se no equivalente armazenado pelo fuste e demais componentes das árvores, como raízes, galhos e folhas, sendo que o CO_2 trata do total equivalente das árvores existentes no sistema e o metano à média anual destas árvores.



SisILPF - Nova Simulação

Arquivo Gráfico Análise econômica - Manual - Outros

Entrada de Dados

Resultados

Salvar

Imprimir

Sis.ILPF

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Eucalyptus benthamii

Descrição: Exemplo 1
Índice de Sítio: 25,0
Densidade (árvores por hectare): 577
Porcentagem de sobrevivência (1° ano): 100 %

Idade	Árvores/Ha	Altura Média	Diâm. Médio	Área Basal	Vol. Total	Vol. / Ano	t. CO2	Kg. Metano / Ano
1	577	3,6	1,7	0,1	0,2	0,2	0,2	5,6
2	576	8,2	6,9	2,1	7,6	3,8	6,0	106,8
3	574	11,8	11,0	5,5	27,9	9,3	21,9	260,4
4	570	14,6	13,9	8,6	54,1	13,5	42,4	378,7
5	563	16,8	15,9	11,1	80,8	16,2	63,4	452,6
6	556	18,7	17,3	13,1	105,6	17,6	82,8	493,0

O povoamento foi desbastado pela remoção de 268 árvores.

Idade	Árvores/Ha	Altura Média	Diâm. Médio	Área Basal	Vol. Total	Vol. / Ano	t. CO2	Kg. Metano / Ano
7	286	21,7	21,7	10,6	99,3	14,2	77,9	397,6
8	285	23,0	23,0	11,9	117,5	14,7	92,2	411,4
9	283	24,2	24,1	12,9	133,9	14,9	105,1	417,0
10	281	25,3	24,9	13,7	148,9	14,9	116,8	417,3
11	279	26,4	25,6	14,3	162,5	14,8	127,5	413,9
12	277	27,3	26,2	14,9	174,8	14,6	137,2	408,2

DESBASTES

Idade	Volume Removido	tCO2
6	42,8	33,6

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (6 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Toras > 18 cm	Toras 8-18 cm	Toras < 8 cm
12,0-14,0	12	17,4	1,3	0,0	0,9	0,3
14,0-16,0	110	18,0	15,6	0,0	13,4	2,2
16,0-18,0	119	18,5	20,2	0,0	18,9	1,3
18,0-20,0	26	17,2	5,3	0,0	5,1	0,2
20,0-22,0	1	17,9	0,4	0,1	0,2	0,0
Totais		**18,4**	**42,8**	**0,1**	**38,5**	**4,2**

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (12 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Toras > 18 cm	Toras 8-18 cm	Toras < 8 cm
18,0-20,0	8	24,3	3,7	0,9	2,6	0,2
20,0-22,0	154	26,5	88,7	35,7	50,1	2,9
22,0-24,0	109	28,5	76,9	49,0	26,1	1,8
24,0-26,0	6	30,0	5,6	4,0	1,4	0,2
Totais		**27,3**	**174,8**	**89,6**	**80,1**	**5,1**

Embrapa

Figura 7. Tabelas de crescimento e produção e de sortimento com resultados do Exemplo 1.

Todas as produções madeireiras dos desbastes e da colheita final são apresentadas separadamente em tabelas de sortimento, por classes de dimensões de tora indicadas pelo usuário.

Na parte superior das telas, clicando no item “Gráfico”, o sistema apresentará a Figura 8, mostrando a evolução do volume de madeira e da quantidade de CO_2 do Exemplo 1.

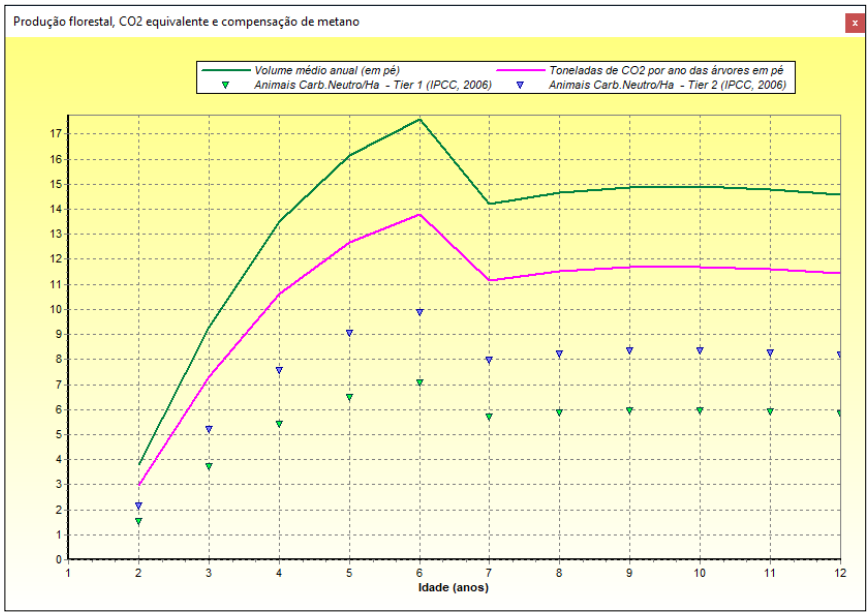


Figura 8. Gráfico com resultados do volume médio anual de madeira em pé, quantidade de carbono e de animais com emissão compensada do Exemplo 1.

No gráfico é apresentado ainda o número de árvores necessárias para compensar as emissões de metano pelos animais, no sistema ILPF. Tier 1 e Tier 2 (IPCC, 2006) são níveis de referência para emissões de metano entérico. Tier 1 é fixado para a América Latina em 56 kg CH_4/animal ao ano e Tier 2c para o gado consumindo forragem com diferentes digestibilidades (55% a 65%), indicando um fator de emissão de metano em torno de 70 kg CH_4/animal ao ano (Alves et al., 2017).

O software Planin para análise econômica

O software Planin é instalado junto com o SisEucalipto e SisILPF_Eucalipto, o que permite o cálculo dos parâmetros de análise econômica mais utilizados para a avaliação da produção madeireira de regimes de manejo de plantações florestais. Também gera tabelas para análise de sensibilidade da rentabilidade a diferentes taxas de atratividade, preços de madeira e custos envolvidos. Para acompanhamento de custos, há a emissão de um relatório dos gastos anuais.

Nas Figuras a seguir são apresentadas três das telas do Planin, com detalhes para o Exemplo 1 de ILPF com *E. benthamii* (Figura 7) da entrada de dados de produção madeireira por dimensões de tora (Figura 9), custos envolvidos (Figura 10) e resultados da análise econômica com taxa de juros de 4% ao ano (Figura 11).

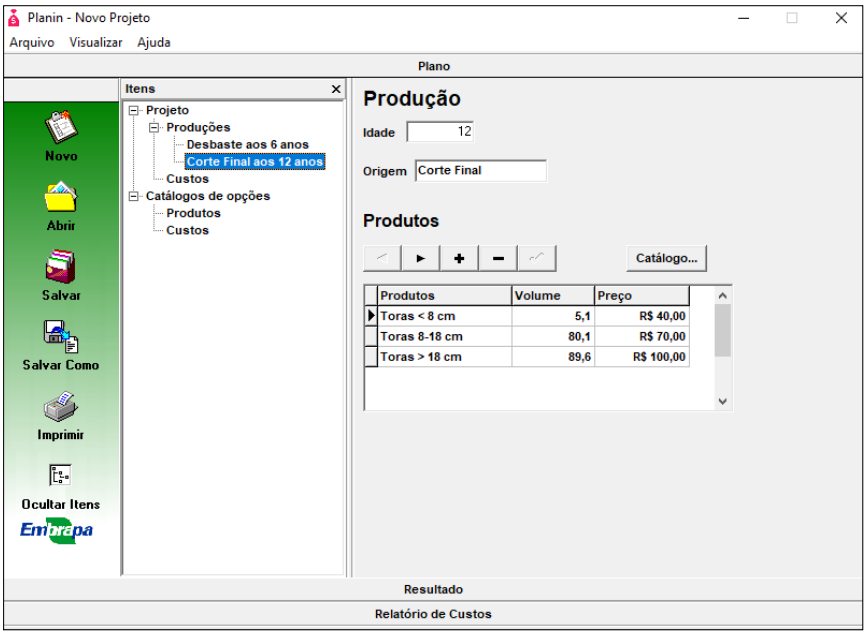


Figura 9. Tela para informações dos produtos a serem analisados pelo software Planin, conforme Exemplo 1.

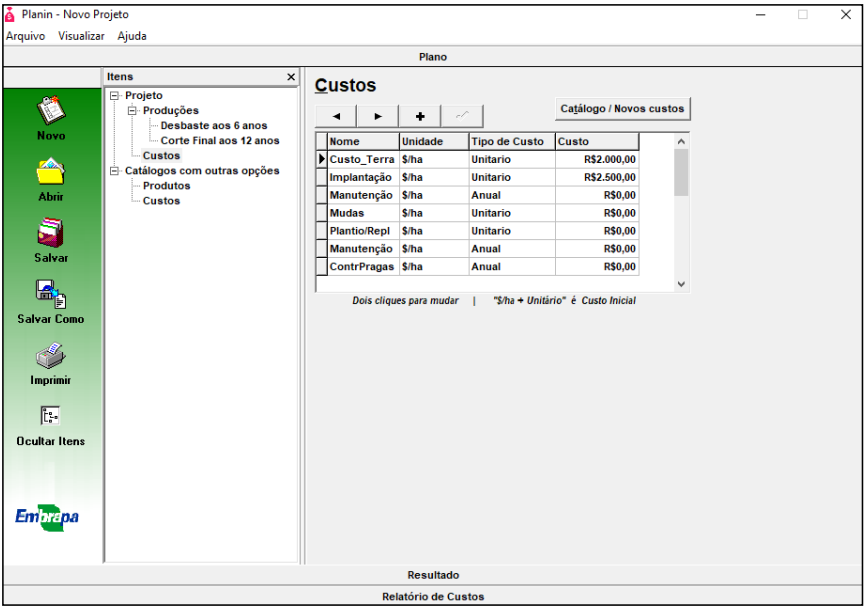
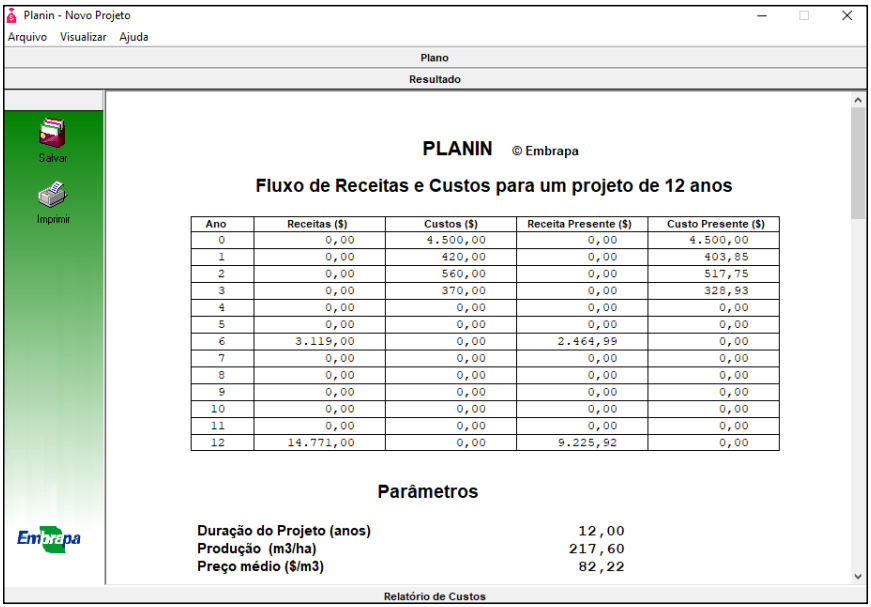
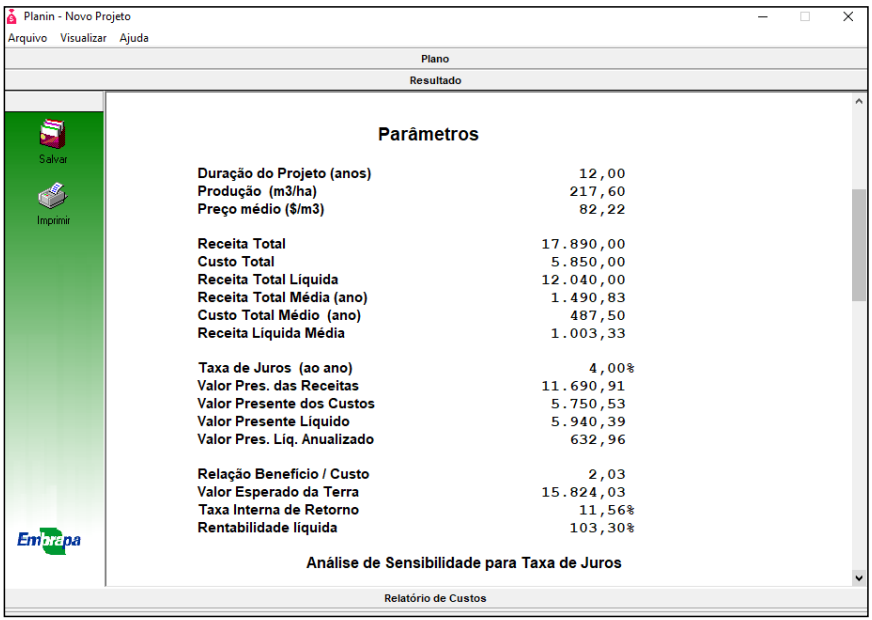
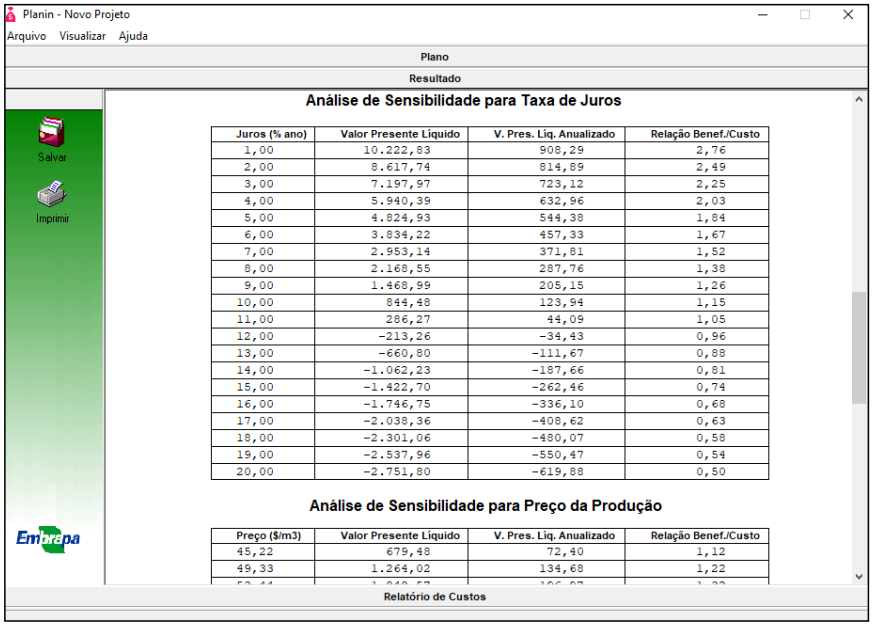


Figura 10. Planilha de custos do software Planin, com informações referentes ao Exemplo1.


Planin - Novo Projeto
Arquivo Visualizar Ajuda
Plano
Resultado
Salvar
Imprimir
PLANIN © Embrapa
Fluxo de Receitas e Custos para um projeto de 12 anos
Ano | Receitas ($) | Custos ($) | Receita Presente ($) | Custo Presente ($)
0 | 0,00 | 4.500,00 | 0,00 | 4.500,00
1 | 0,00 | 420,00 | 0,00 | 403,85
2 | 0,00 | 560,00 | 0,00 | 517,75
3 | 0,00 | 370,00 | 0,00 | 328,93
4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
6 | 3.119,00 | 0,00 | 2.464,99 | 0,00
7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
12 | 14.771,00 | 0,00 | 9.225,92 | 0,00
Parâmetros
Duração do Projeto (anos) 12,00
Produção (m3/ha) 217,60
Preço médio ($/m3) 82,22
Relatório de Custos


Planin - Novo Projeto
Arquivo Visualizar Ajuda
Plano
Resultado
Salvar
Imprimir
Parâmetros
Duração do Projeto (anos) 12,00
Produção (m3/ha) 217,60
Preço médio ($/m3) 82,22
Receita Total 17.890,00
Custo Total 5.850,00
Receita Total Líquida 12.040,00
Receita Total Média (ano) 1.490,83
Custo Total Médio (ano) 487,50
Receita Líquida Média 1.003,33
Taxa de Juros (ao ano) 4,00%
Valor Pres. das Receitas 11.690,91
Valor Presente dos Custos 5.750,53
Valor Presente Líquido 5.940,39
Valor Pres. Liq. Anualizado 632,96
Relação Benefício / Custo 2,03
Valor Esperado da Terra 15.824,03
Taxa Interna de Retorno 11,56%
Rentabilidade líquida 103,30%
Análise de Sensibilidade para Taxa de Juros
Relatório de Custos

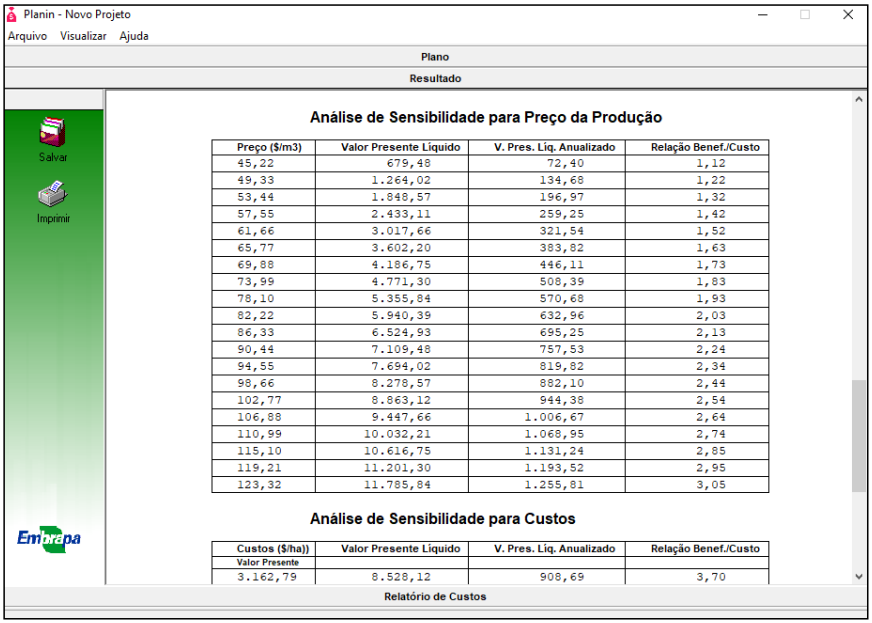


Análise de Sensibilidade para Taxa de Juros

Juros (% ano)	Valor Presente Líquido	V. Pres. Liq. Anualizado	Relação Benef./Custo
1,00	10.222,83	908,29	2,76
2,00	8.617,74	814,89	2,49
3,00	7.197,97	723,12	2,25
4,00	5.940,39	632,96	2,03
5,00	4.824,93	544,38	1,84
6,00	3.834,22	457,33	1,67
7,00	2.953,14	371,81	1,52
8,00	2.168,55	287,76	1,38
9,00	1.468,99	205,15	1,26
10,00	844,48	123,94	1,15
11,00	286,27	44,09	1,05
12,00	-213,26	-34,43	0,96
13,00	-660,80	-111,67	0,88
14,00	-1.062,23	-187,66	0,81
15,00	-1.422,70	-262,46	0,74
16,00	-1.746,75	-336,10	0,68
17,00	-2.038,36	-408,62	0,63
18,00	-2.301,06	-480,07	0,58
19,00	-2.537,96	-550,47	0,54
20,00	-2.751,80	-619,88	0,50

Análise de Sensibilidade para Preço da Produção

Preço ($/m3)	Valor Presente Líquido	V. Pres. Liq. Anualizado	Relação Benef./Custo
45,22	679,48	72,40	1,12
49,33	1.264,02	134,68	1,22

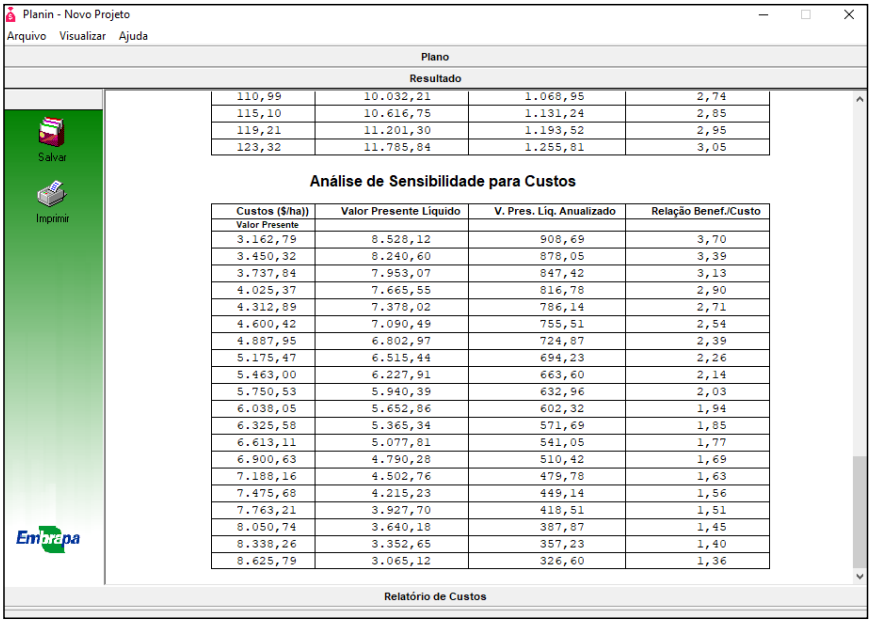


Análise de Sensibilidade para Preço da Produção

Preço ($/m3)	Valor Presente Líquido	V. Pres. Liq. Anualizado	Relação Benef./Custo
45,22	679,48	72,40	1,12
49,33	1.264,02	134,68	1,22
53,44	1.848,57	196,97	1,32
57,55	2.433,11	259,25	1,42
61,66	3.017,66	321,54	1,52
65,77	3.602,20	383,82	1,63
69,88	4.186,75	446,11	1,73
73,99	4.771,30	508,39	1,83
78,10	5.355,84	570,68	1,93
82,22	5.940,39	632,96	2,03
86,33	6.524,93	695,25	2,13
90,44	7.109,48	757,53	2,24
94,55	7.694,02	819,82	2,34
98,66	8.278,57	882,10	2,44
102,77	8.863,12	944,38	2,54
106,88	9.447,66	1.006,67	2,64
110,99	10.032,21	1.068,95	2,74
115,10	10.616,75	1.131,24	2,85
119,21	11.201,30	1.193,52	2,95
123,32	11.785,84	1.255,81	3,05

Análise de Sensibilidade para Custos

Custos ($/ha))	Valor Presente Líquido	V. Pres. Liq. Anualizado	Relação Benef./Custo
Valor Presente			
3.162,79	8.528,12	908,69	3,70



110,99	10.032,21	1.068,95	2,74
115,10	10.616,75	1.131,24	2,85
119,21	11.201,30	1.193,52	2,95
123,32	11.785,84	1.255,81	3,05

Análise de Sensibilidade para Custos

Custos ($/ha))	Valor Presente Líquido	V. Pres. Líq. Anualizado	Relação Benef./Custo
Valor Presente			
3.162,79	8.528,12	908,69	3,70
3.450,32	8.240,60	878,05	3,39
3.737,84	7.953,07	847,42	3,13
4.025,37	7.665,55	816,78	2,90
4.312,89	7.378,02	786,14	2,71
4.600,42	7.090,49	755,51	2,54
4.887,95	6.802,97	724,87	2,39
5.175,47	6.515,44	694,23	2,26
5.463,00	6.227,91	663,60	2,14
5.750,53	5.940,39	632,96	2,03
6.038,05	5.652,86	602,32	1,94
6.325,58	5.365,34	571,69	1,85
6.613,11	5.077,81	541,05	1,77
6.900,63	4.790,28	510,42	1,69
7.188,16	4.502,76	479,78	1,63
7.475,68	4.215,23	449,14	1,56
7.763,21	3.927,70	418,51	1,51
8.050,74	3.640,18	387,87	1,45
8.338,26	3.352,65	357,23	1,40
8.625,79	3.065,12	326,60	1,36

Figura 11. Fluxo de caixa, parâmetros para análise econômica e análise de sensibilidade do software Planin para o Exemplo 1.

SisEucalipto_Plus e a simulação simultânea de múltiplos regimes de manejo

O SisEucalipto_Plus também foi lançado na Expoforest 2018 (Oliveira, 2018a) e possui os mesmos algoritmos do "SisEucalipto", entretanto, possibilita a simulação de múltiplos regimes de manejo para diversos talhões simultaneamente. Nas Figuras 12 e 13 são apresentadas as planilhas de entrada de dados de inventários e definições dos regimes de manejo. No caso, foram cinco talhões e oitenta e quatro regimes de manejo.

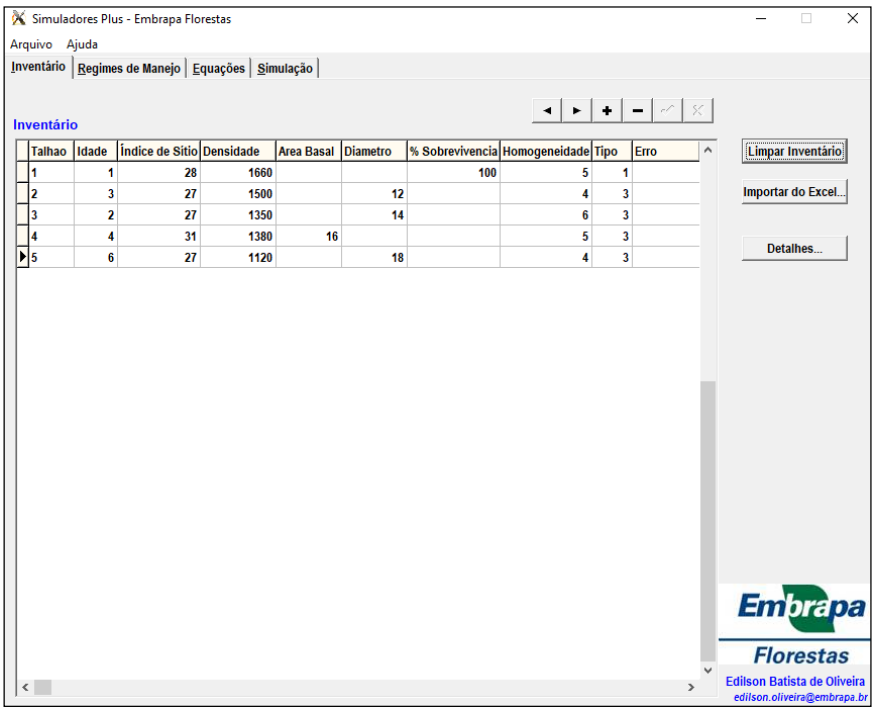


Figura 12. Entrada de dados de inventários do SisEucalipto_Plus.

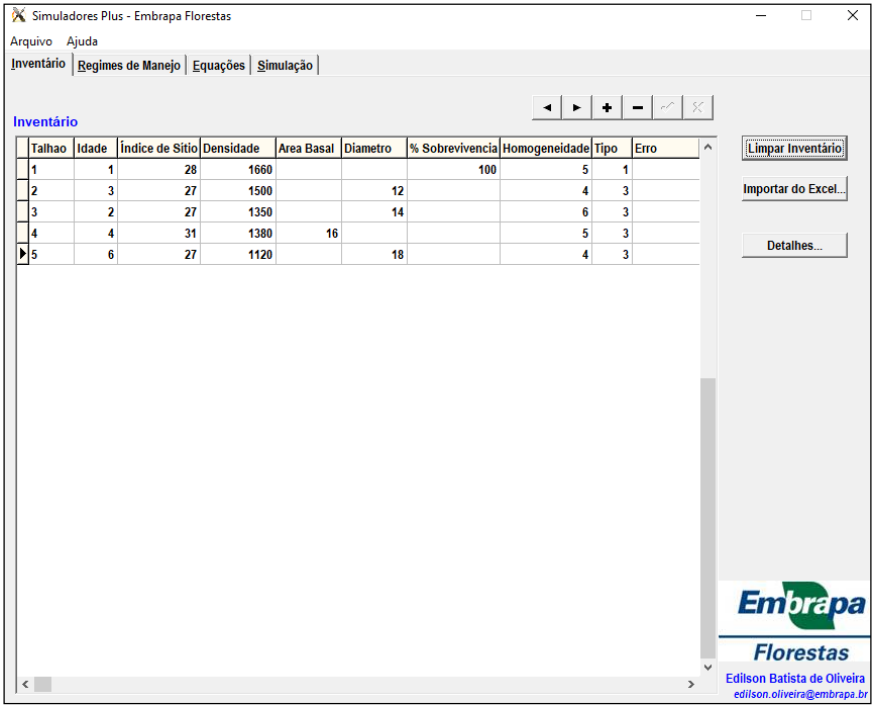
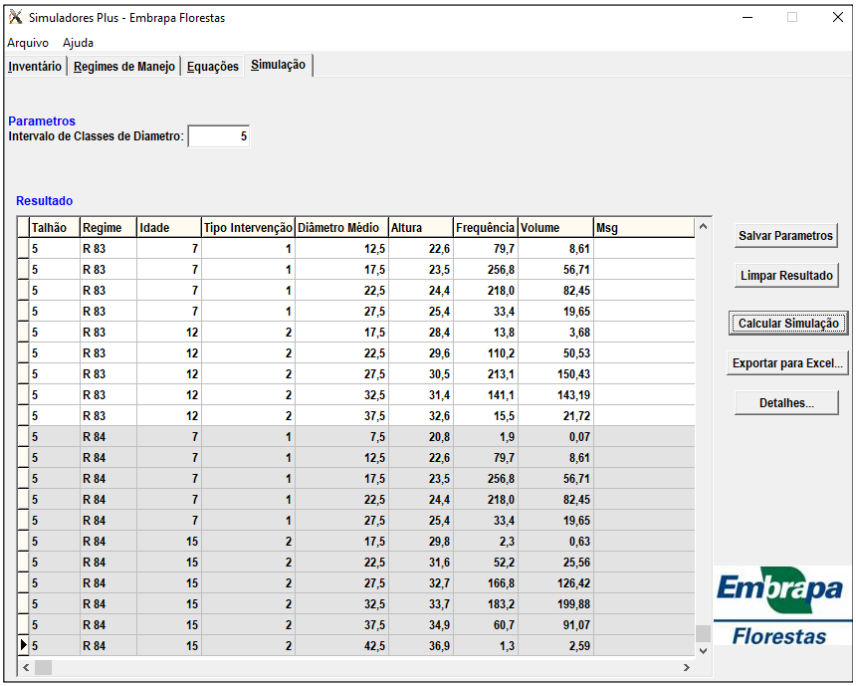


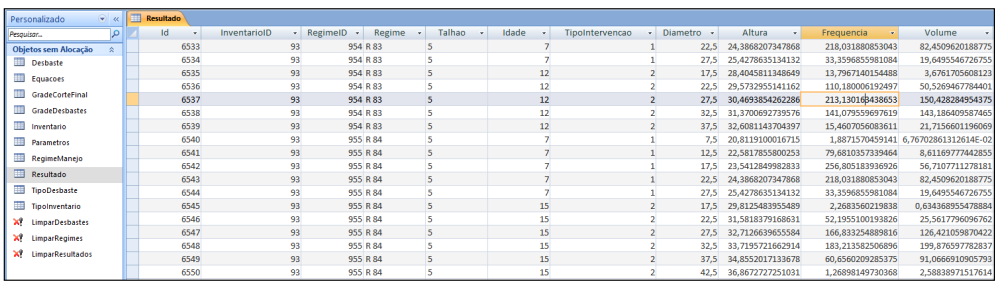
Figura 13. Regimes de manejo do SisEucalipto_Plus.

O SisEucalipto_Plus está integrado com Excel ® e Access ®, o que viabiliza a interação com banco de dados e possibilita que se trabalhe com uma extensa gama de opções, especialmente tecnologias do manejo florestal de precisão, como pesquisa operacional e inteligência artificial.



Talhão	Regime	Idade	Tipo Intervenção	Diâmetro Médio	Altura	Frequência	Volume	Msg
5	R 83	7	1	12,5	22,6	79,7	8,61	
5	R 83	7	1	17,5	23,5	256,8	56,71	
5	R 83	7	1	22,5	24,4	218,0	82,45	
5	R 83	7	1	27,5	25,4	33,4	19,65	
5	R 83	12	2	17,5	28,4	13,8	3,68	
5	R 83	12	2	22,5	29,6	110,2	50,53	
5	R 83	12	2	27,5	30,5	213,1	150,43	
5	R 83	12	2	32,5	31,4	141,1	143,19	
5	R 83	12	2	37,5	32,6	15,5	21,72	
5	R 84	7	1	7,5	20,8	1,9	0,07	
5	R 84	7	1	12,5	22,6	79,7	8,61	
5	R 84	7	1	17,5	23,5	256,8	56,71	
5	R 84	7	1	22,5	24,4	218,0	82,45	
5	R 84	7	1	27,5	25,4	33,4	19,65	
5	R 84	15	2	17,5	29,8	2,3	0,63	
5	R 84	15	2	22,5	31,6	52,2	25,56	
5	R 84	15	2	27,5	32,7	166,8	126,42	
5	R 84	15	2	32,5	33,7	183,2	199,88	
5	R 84	15	2	37,5	34,9	60,7	91,07	
5	R 84	15	2	42,5	36,9	1,3	2,59	

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Regime	Talhao	Idade	TipoIntervenc	Diametro	Altura	Frequencia	Volume
2								
3	R 1	1	10	2	17,50	26,13	19,62	4,81
4	R 1	1	10	2	22,50	28,12	212,09	92,46
5	R 1	1	10	2	27,50	29,52	408,80	279,59
6	R 1	1	10	2	32,50	30,86	229,86	229,49
7	R 1	1	10	2	37,50	32,54	19,12	26,80
8	R 2	1	12	2	17,50	27,10	8,12	2,06
9	R 2	1	12	2	22,50	29,81	142,20	65,73
10	R 2	1	12	2	27,50	31,57	346,77	253,56
11	R 2	1	12	2	32,50	33,13	256,95	275,41
12	R 2	1	12	2	37,50	34,90	40,98	61,60
13	R 3	1	15	2	17,50	27,99	2,46	0,65
14	R 3	1	15	2	22,50	31,74	84,74	41,71



Id	InventarioID	RegimeID	Regime	Talhao	Idade	TipoIntervencao	Diametro	Altura	Frequencia	Volume
6533	93	954	R 83	5	7	1	22,5	24,3868207347868	218,031880853043	82,4509620188775
6534	93	954	R 83	5	7	1	27,5	25,4278635134132	33,3596855981084	19,6495546726755
6535	93	954	R 83	5	12	2	17,5	28,4045811348649	13,7967140154488	3,67617056081 23
6536	93	954	R 83	5	12	2	22,5	29,5732955141162	110,180006192497	50,5269467784401
6537	93	954	R 83	5	12	2	27,5	30,4693854262286	213,130168438653	150,428284954375
6538	93	954	R 83	5	12	2	32,5	31,3700692739576	141,079559697619	143,186409587465
6539	93	954	R 83	5	12	2	37,5	32,6081143704397	15,4607056083611	21,7156601196069
6540	93	955	R 84	5	7	1	7,5	20,8119100016715	1,88715704591 41	6,76702861312614E-02
6541	93	955	R 84	5	7	1	12,5	22,5817855800253	79,6810357339464	8,61169777442855
6542	93	955	R 84	5	7	1	17,5	23,5412849982833	256,805183936926	56,7107711278181
6543	93	955	R 84	5	7	1	22,5	24,3868207347868	218,031880853043	82,4509620188775
6544	93	955	R 84	5	7	1	27,5	25,4278635134132	33,3596855981084	19,6495546726755
6545	93	955	R 84	5	15	2	17,5	29,8125483955489	2,2683560219838	0,63436895547888 4
6546	93	955	R 84	5	15	2	22,5	31,5818379168631	52,1955100193826	25,5617796096762
6547	93	955	R 84	5	15	2	27,5	32,7126639655584	166,833254889816	126,421059870422
6548	93	955	R 84	5	15	2	32,5	33,7195721662914	183,213582506896	199,876597782837
6549	93	955	R 84	5	15	2	37,5	34,8552017133678	60,6560209285375	91,0666910905793
6550	93	955	R 84	5	15	2	42,5	36,8672727251031	1,26898149730368	2,58838971517614

Figura 14. Planilha de resultados com 84 regimes de manejo para cada um dos cinco talhões, gerada pelo SisEucalipto_Plus em tela própria, Excel e Access.

Considerações finais

Os softwares da série "Sis" da Embrapa Florestas têm atingido a marca de quatro mil downloads por ano, sendo utilizados em todos os Estados brasileiros e diversos países, sendo que SisEucalipto e SisILPF_Eucalipto representam um terço deste total. Seus usuários são produtores rurais, empresas de base florestal, consultorias, órgãos de assistência técnica rural, institutos ambientais, cooperativas, secretarias municipais, sindicatos, associações, universidades, centros tecnológicos e profissionais autônomos.

Conforme já enfatizado, os softwares dão suporte às atividades de manejo, análise econômica e planejamento do componente florestal em monocultivos e sistemas ILPF. Por meio deles, os produtores podem testar, para cada condição de clima e de solo, todas as opções de manejo florestal, fazer prognoses de produções presente e futura, efetuar análises econômicas e decidir sobre a melhor alternativa para conduzir sua plantação. Com a quantificação da madeira produzida por tipo de utilização industrial, o usuário desses softwares pode manejar suas florestas para a produção de madeira direcionada ao uso mais rentável.

Todos os softwares possuem manuais também nos idiomas inglês e francês, e estão disponibilizados no site da Embrapa Florestas (https://www.embrapa.br/florestas).

Referências

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MACEDO, M. C. M.; MEDEIROS, S. R.; FERREIRA, A. D.; GOMES, R. C.; ARAÚJO, A. R.; MONTAGNER, D. B.; BUNGENSTAB, D.; FEIJÓ, D. **Carbon neutral brazilian beef**: a new concept for sustainable beef production in the tropics. Brasília, DF: Embrapa, 2017. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 243). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1080610.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

HAFLEY, W. L.; BUFORD, M. A. A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Science**, v. 31, n. 1, p. 237-47, 1985.

HAFLEY, W. L.; SCHREUDER, H. T. Statistical distribuition for fitting diameter and height data in even-aged stand. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 7, p. 481-487, 1977. DOI: https://doi.org/10.1139/x77-062.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **2006 IPCC**: guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama: IGES, 2006. v. 4.

OLIVEIRA, E. B.; BERNETT, L. B.; MACHADO, S. A.; GRAÇA, L. R. SisEucalipto: simulador para manejo de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., 2000, Porto Seguro. **Resumos técnicos**. Rio de Janeiro: Instituto Ambiental Biosfera, 2000. p. 369-371.

OLIVEIRA, E. B. Série Plus de novos softwares da Embrapa para simulação simultânea de múltiplos regimes de manejo de florestas plantadas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018a. v. 1. p. 135-140.

OLIVEIRA, E. B. SisILPF: software para simulação do crescimento, produção, metano e manejo do componente florestal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018b. v. 1. p. 127-134.

OLIVEIRA, E. B. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898050.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose de crescimento e produção de *Pinus taeda* L. com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. 1995. 126 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHREUDER, H. T.; HAFLEY, W. L. A useful bivariate distribuition for describing stand structure of tree heights and diameter. **Biometrics**, v. 33, n. 3, p. 471-477, 1977. DOI: https://doi.org/10.2307/2529361.

24

CalcMadeira: Sistema para estimativa de peças de madeira roliça e serrada

Thomaz Correa e Castro da Costa
Monica Matoso Campanha
Luiz Fernando Maciel França

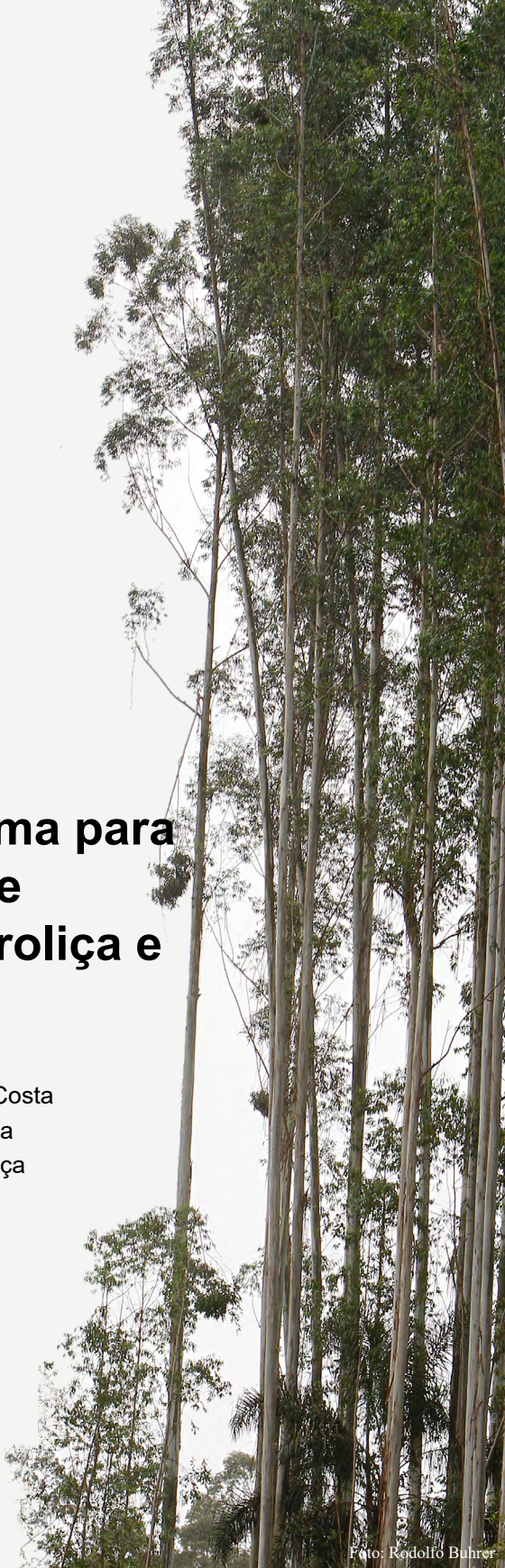


Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O mercado de madeira roliça de florestas plantadas (mourões, esticadores, postes, madeira para escoramento na construção civil, em estruturas de entretenimento, em telhados) está em crescimento, enquanto a produção e o consumo de madeira serrada apresentou tendência de queda em mais de 10 milhões de m^3, no período de 2007 a 2016 (ABIMCI, 2016). A crescente oferta de florestas plantadas, principalmente de eucalipto, que já ocupa quase 8 milhões de hectares no Brasil (IBGE, 2016), é preferencialmente destinada para energia e celulose. Mas considerando a crescente escassez de madeira serrada de florestas nativas, serrarias vêm experimentando o uso do eucalipto em substituição às espécies nativas, e lidando com fatores como a espécie, o manejo, a idade e os processos de desdobro, secagem e armazenamento que são determinantes na qualidade final das peças de madeira serrada (Rocha; Tomaselli, 2002; Juízo et al., 2014; Cunha et al., 2015; Moraes Neto, 2017).

A oferta de florestas plantadas com padronização das suas dimensões favorece a construção de regras de negócio para solucionar problemas dos manejadores e processadores de madeira. Desta forma, as informações geradas, podem auxiliar a comercialização. Esta avaliação advém de um mercado que valora a madeira em volume (metros cúbicos ou estéreo). O vendedor, pela dificuldade de estimar produtos madeireiros, ao vender a madeira em pé não sabe quantas peças poderão ser beneficiadas de suas árvores. Esta situação favorece uma relação comercial desvantajosa, pois, sem saber a quantidade de peças de madeira que seu povoamento poderia render, dá ao comprador uma vantagem de aferir um lucro muito maior após o beneficiamento da madeira (Costa et al., 2016).

O uso de ferramentas computacionais para estimar multiprodutos de árvores não é recente e, em sua maioria, buscam a otimização entre madeira para energia, serraria e celulose, baseada em volume (Leite, 1994; Soares et al., 2003; Chichorro et al., 2003; Oliveira, 2011; Oliveira et al., 2011; Binoti, 2012), ou modelam e/ou simulam crescimento, produção florestal e desdobro de madeira, como o DynaTree, SigmaE (Leite, 1994), SisEucalipto (Oliveira, 2011), RPF (Binoti, 2012). Com menor frequência, existem experiências que simulam processos em serraria (Heinrich, 2010).

Mas soluções computacionais para o desdobro da madeira, que simulam sua conversão em peças serradas demandadas pela construção civil e indústria moveleira, não estão disponíveis gratuitamente, com exceção do programa SigmaE que inclui o modelo SawModel, para otimização do desdobro da madeira (Nunes, 2013). Dentre as aplicações comerciais estão o MaxTora, da empresa OpTimber, e o CutLog da empresa Tekl Studio (Tekl Studio, 2018). Em sua maioria, o fundamento da solução é por pesquisa operacional, técnica aplicada para otimização das dimensões de peças selecionadas em uma seção do tronco.

CalcMadeira

Esta aplicação foi desenvolvida para simular métodos de desdobro convencionais. Suas rotinas utilizam relações trigonométricas, uma lógica diferente das técnicas de otimização. O usuário escolhe e prioriza as peças com as dimensões desejadas (comprimento, amplitudes de largura e espessura para madeira serrada), e seleciona, dentre quatro métodos de desdobro, aquele que será utilizado na serraria. Seu primeiro desenvolvimento foi em Visual Basic for Applications (VBA), registrado na sua 1ª versão, o CalcMadeira Eucalipto (Processo INPI nº BR 51 2018 001002-4), que tem as seguintes rotinas: 1) Calcula Peças Roliças, 2) Calcula Peças Madeira Serrada (quadrado circunscrito), 3) Calcula Peças Madeira Serrada (Longitudinal 1/xD Costaneiras), 4) Calcula Peças Madeira Serrada (Longitudinal com Costaneira Base), 5) Calcula Peças Madeira Serrada (Radial).

Esta versão foi aprimorada para atender a prioridade de peças e dimensões definidas pelo usuário, simular o desdobro para outras espécies de reflorestamento, como *Khaya ivorensis, Toona ciliata, Corymbia citriodora, Pinus* sp. e para calcular o desdobro de toras isoladas, sem exigência de uma função de afilamento, o que resultou em mais quatro rotinas, para desdobro de toras.

Nas rotinas de desdobro por árvore, o sistema tem internamente funções de afilamento (Kozak et al., 1969), de volumetria (Silva et al., 2009), que também podem ser geradas pelo usuário. A sequência de passos para gerar os resultados de quantificação de peças de madeira roliça e serrada são apresentados a seguir:

- O usuário realiza um inventário florestal do povoamento, e cria um arquivo texto com os dados básicos da amostra, que correspondem à identificação da parcela ou do renque, do número da árvore, do DAP em cm e alturas total e comercial, em metros.
- Em outro arquivo texto, o usuário tem os dados das peças, podendo alterar as dimensões de largura, espessura e nome das peças, ou preencher com outras peças e novas dimensões no mesmo.
- A última etapa é escolher um, dentre os métodos de desdobro (Figura 1), para o cálculo das peças.

No caso da rotina de peças roliças (1), para o arquivo txt de peças, os parâmetros são: diâmetro menor, diâmetro maior da seção da tora, comprimento da peça.

No caso das rotinas de desdobro (2, 3, 4 e 5), os parâmetros no arquivo de peças são: amplitudes da largura e espessura da peça. O comprimento, espessura de corte pela serra, altura do toco e percentual de casca são preenchidos pelo usuário em campos da planilha. Nos módulos por tora, os parâmetros são: diâmetro menor, diâmetro maior, comprimento da tora.

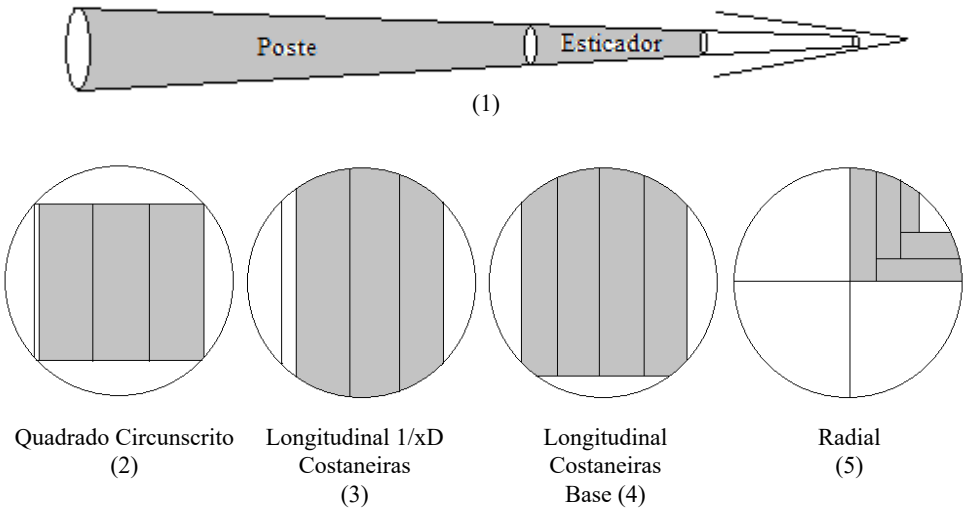


Figura 1. Segmentação de madeira roliça (1) e métodos de desdobro implementados: Quadrado Circunscrito (2), Longitudinal (3), Longitudinal com costaneira base (4) e Radial (5).
Adaptado de Rocha e Tomaselli (2002) e Juízo et al. (2014).

Ao executar cada rotina, são calculados:

- Para a rotina 1 – número de peças (na amostra e por hectare), volume por tipo de peça. Na Tabela 1 (1a, 1b) é apresentado um exemplo dos resultados gerados.
- Para as rotinas 2, 3, 4, 5 – número (nr) e volume de toras por tipo de peça (vr), número (n) e volume (v) de peças por tipo, volume total da amostra (vt), resíduo da madeira serrada (vr-v), resíduo das pontas das árvores (vt-vr), resíduo total (vt-v).

Com estes resultados, o usuário pode utilizar os dados gerados e preços de mercado para avaliar a sua receita. Na Tabela 1 (5a, 5b) é dado um exemplo de desdobro pelo método radial, a partir de toras de eucalipto, com uso da rotina 5 (Figura 1). Os resultados são mostrados em (5a) e detalhadamente em (5b) no relatório.

O software contém também um modulo de projeção de distribuição de diâmetros pela função Weibull (Figura 2), para estimativa de desdobro futuro, a partir de dados de monitoramento de crescimento do povoamento. A continuidade de seu desenvolvimento para uma versão comercial foi contratada com a SIG Informática Ltda e, no prazo aproximado de 1 ano, estará disponível em versão "Demo" e para comercialização, de forma que o usuário poderá testar e experimentar sua aplicabilidade.

Tabela 1. Madeira Roliça, relatório síntese (1a), relatório por peça roliça (1b); Madeira Serrada, relatório síntese (5a) e relatório por peça serrada (5b).

CodPeca		di (cm)	hi (m)	Utilização	n	v (m^3)	vt_amost	res(m^3) = vt-v
1	6	8	2,2	Cercas	0	0,00		
2	8	10	2,2	Escoramento para fruticultura	0	0,00		
3	10	12	3,2	Esticador para fruticultura/instalação de telas	0	0,00		
4	12	14	3,2	Esticador intermediário	0	0,00		
5	14	16	3,2	Esticador para cerca	7	0,39		
6	16	18	3,2	Esticador para cerca/ curral intermediário	4	0,31		
7	18	20	3,2	Esticador para cerca, curral canto, cancela	1	0,08		
8	20	30	7,0	Postes	4	1,31		
9	30		6,0	Madeira serrada	0	0,00		
					16	2,09	1,62	-0,47
				Árvores amostradas	3			

CodPeca	di (cm)	hi (m)	Utilização	n	v (m^3)	vt_amost	res(m^3) = vt-v
1			Cercas	0	0		
2			Escoramento para fruticultura	0	0		
3			Esticador para fruticultura/instalação de telas	0	0		
4			Esticador intermediário	0	0		
5			Esticador para cerca	777	43		
6			Esticador para cerca/ curral intermediário	444	35		
7			Esticador para cerca, curral canto, cancela	111	9		
8			Postes	444	145		
9			Madeira serrada	0	0		
				1776	232	179	-53
			Arv. no Povoamento	333			

(1a)

CodPeca	Peça	AcumPeca	vr	di_casc2	di_casc	di	Tora	Arv
8	Postes	1	0,445	23,5	33,5	24,6	1	1
8	Postes	2	0,260	20,1	23,4	20,7	2	1
7	EsticadorCanto	1	0,083	19,2	17,2	18,1	3	1
6	EsticadorCercaIntermediário	1	0,074	18,7	15,6	17,5	4	1
6	EsticadorCercaIntermediário	2	0,071	18,7	14,9	17,3	5	1
8	Postes	3	0,306	19,2	28,0	20,5	1	2
6	EsticadorCercaIntermediário	3	0,083	17,6	18,6	16,8	2	2
5	EsticadorCerca	1	0,065	16,5	15,8	15,6	3	2
5	EsticadorCerca	2	0,055	15,8	13,8	14,8	4	2
5	EsticadorCerca	3	0,050	15,6	12,6	14,5	5	2
8	Postes	4	0,296	19,1	27,3	20,1	1	3
6	EsticadorCercaIntermediário	4	0,084	17,6	18,9	16,8	2	3
5	EsticadorCerca	4	0,067	16,5	16,2	15,6	3	3
5	EsticadorCerca	5	0,056	15,7	14,1	14,8	4	3
5	EsticadorCerca	6	0,049	15,3	12,8	14,3	5	3
5	EsticadorCerca	7	0,047	15,3	12,1	14,2	6	3

(1b)

Peças	n_toras	vr (m^3)	n (peças)	v (peças)	vt_am.	vr-v (m^3)	vt-vr (m^3)	res(m^3) = vt-v	Rendimento
Sarrafo	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripão	9	1,20	40	0,35		0,85			
Caibro	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pontalete	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripa	0	0,00	12	0,04		-0,04			
Viga	0	0,00	0	0,00		0,00			
Tábua	0	0,00	0	0,00		0,00			
Prancha	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pranchão	0	0,00	0	0,00		0,00			
Amostra	9	1,20	52	0,38	1,61	0,81	0,41	1,23	0,32
Árvores	3								
Peças									
Sarrafo	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripão	999	133,24	4440	38,54		94,70			
Caibro	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pontalete	0	0,00	0	0,00		0,00			
Ripa	0	0,00	1332	4,40		-4,40			
Viga	0	0,00	0	0,00		0,00			
Tábua	0	0,00	0	0,00		0,00			
Prancha	0	0,00	0	0,00		0,00			
Pranchão	0	0,00	0	0,00		0,00			
Povoamento	999	133,24	5772	42,94	179,38	90,30	46,14	136,43	
Árvores	333								

(5a)

Peça	es + es_serra	L ou es_reman	n	v	vr	di_casc2	di_casc	di	Tora	Arv	Fatia	l_sobra	es_sobra
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.215	25.9	33.5	24.1	1	1	0	4.2	6.5
Ripão	4.5	5.5	1	0.006							1	0.2	7.5
Ripa	2.5	4.5	1	0.002							0	0.0	4.0
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.168	23.9	28.5	22.3	2	1	0	3.2	5.6
Ripa	4.5	4.5	1	0.005							1	0.2	6.6
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.132	22.2	24.4	20.6	3	1	0	2.2	4.8
Ripa	2.5	4.5	1	0.002							1	0.0	7.8
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.149	21.4	28.0	19.9	1	2	0	1.8	4.5
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.112	19.6	23.3	18.2	2	2	0	0.8	3.6
Ripão	5.5	5.5	1	0.008	0.086	18.0	19.5	16.8	3	2	0	0.8	2.9
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.143	21.1	27.3	19.6	1	3	0	1.6	4.3
Ripão	5.5	6.5	1	0.009	0.111	19.4	23.2	18.1	2	3	0	0.7	3.5
Ripão	5.5	5.5	1	0.008	0.086	18.0	19.7	16.7	3	3	0	0.8	2.9
													8.4

(5b)

Weibull Projeção

Preencha Data Plantio:
05/02/2009

Selecione a Data 1o Inventário, com a parcela e indicador de desbaste:
1 27/05/2014 0

Data do 1o Inventário:
27/05/2014

Desbaste?
0
0

Escolha Data 2o Inventário:
1 10/03/2016 0

Data do 2o Inventário:
10/03/2016

Diferença Meses
28.6

Parcelas Iguais?
1
1

Mês do 1o Inventario:
64.6

Mês do 2o Inventario:
93.2

Data Projeção:
05/02/2024

Mês da Projeção:
182.6

	1o Inv	2o Inv	Projetado
Data Plantio	05/02/2009		
Data Inventário	27/05/2014	10/03/2016	05/02/2024
meses	65	86	183
meses arq txt	65	93	183
nArvores	40	38	40
Falhas(nMortas)	0	3	0
Espaçam. Arv.(m)	2	2	2
Espaçam. Lin.(m)	15	15	15
AreaParc(m2)	1200	1230	1200
Arv/há_sobrev	333	285	333
MinDAP(cm)	17.7	20.3	21.5
MáxDAP(cm)	26.1	27.2	37.9
MedDAP(cm)	20.8	23.4	37.9
Asmed(cm2)	342.3	430.9	
DAP_med(Dg)	20.9	23.4	
G(m2/há)	11.4	12.3	21.0
Hmin	20.0	20.9	
Hmax	28.2	34.6	
Hdom	23.9	29.8	29.2
nArvPerc24	10	10	
nArvPerc93	38	36	
Dap24	19.9	22.0	35.9
Dap93	23.4	26.1	44.0
a=	17.7	16.2	20.2
b=	3.8	7.8	13.1
c=	2.4	4.2	5.4

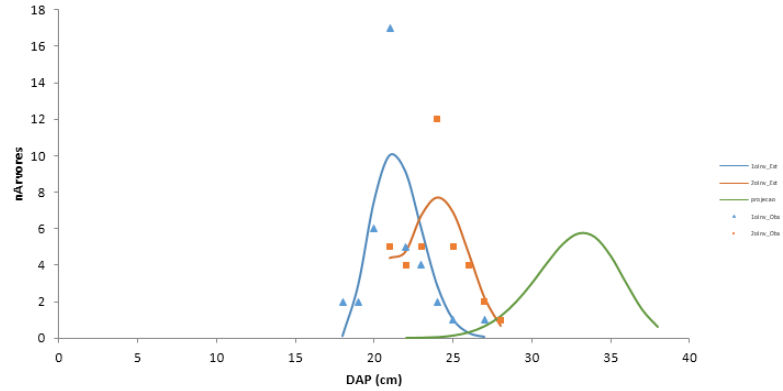


Figura 2. Página parcial do módulo de projeção.

Validação

As rotinas do CalcMadeira foram submetidas às validações e correções de inconsistências, por meio de um software de desenho assistido por computador (CAD) e por modificações na base de dados.

No exemplo a seguir, é mostrada a validação da rotina do quadrado circunscrito em serrarias, referente às condições reais da árvore, como tortuosidades, rachaduras no momento do desdobro, demais defeitos, e prática de operações em serrarias.

Foram conduzidos três testes de validação:

- (1) Com três árvores de *Corymbia citriodora*, usando serra de fita horizontal e serra circular de bancada da marcenaria da Embrapa.
- (2) Com três árvores do clone GG100 ¨urograndis¨ em sistema ILPF, que foram desdobradas em uma serraria comercial, com serra de fita vertical e serra circular de bancada.
- (3) Com nove toras de *Corymbia citriodora*.

Nos testes 1 e 2, foram aplicadas a rotina do bloco (2), e no teste 3 a rotina longitudinal (3). A espessura de serra adotada foi de 0,5 cm e o desdobro foi realizado até a 6ª ou 7ª tora, alcançando 12 m de altura das árvores no 1º teste, entre 18 m e 21 m de altura no 2º, e aproximadamente 9 m de altura no 3º teste, de acordo com a viabilidade do seu aproveitamento em peças.

Nas toras do 1º teste foram mensurados o diâmetro com casca da menor seção, o diâmetro sem casca, os lados do quadrado circunscrito (bloco) (Figura 3A), e anotadas imperfeições, como tortuosidade, rachaduras etc. As peças serradas (Figuras 3C e D) foram mensuradas na largura e espessura, nas extremidades e no meio da peça. Nos demais testes foram somente obtidas as quantidades calculada e desdobrada de peças.

Com os dados calculados, e medidos nas toras e nas peças, foram obtidas as exatidões entre as reais dimensões das toras e das peças definidas pelo usuário com os resultados das peças serradas, e a diferença entre a quantidade de peças calculada pelo software e a quantidade desdobrada.

Fotos: Thomaz Correa e Castro da Costa

Figura 3. Demarcação de peças na tora para o desdobro (A), operação no engenho (B), peças desdobradas na marcenaria da Embrapa (C e D).

1º Teste da rotina do Quadrado Circunscrito (2)

Adotou-se a regra de prioridade de peças de maior para a menor dimensão em largura e espessura, informadas na NBR 14807 (ABNT, 2002) (Tabela 2). As peças, definidas pelo CalcMadeira, foram desenhadas na seção menor de cada tora, antes do desdobro (Figura 3A). As equações de Afilamento no modelo $(di/Dap)^2 = b_0 + b_1 hi/Ht) + b_2(hi/Ht)^2$ (Kozak et al., 1969) foram ajustadas por árvore. As árvores foram cortadas a 30 cm de altura do toco. A espessura da casca foi medida em cada seção da tora, sendo considerada a média por árvore. Foi definido 2,0 m de comprimento das peças (toras), para facilitar o manuseio na serra de bancada.

Tabela 2. Diâmetro à altura do peito (Dap), altura total (Ht), altura comercial (Hc) e % espessura de casca (es_casc); prioridade de seleção de peças (Prior.), com suas amplitudes de largura (L) e espessura (es).

Árvore	Dap (cm)	Ht/Hc(1) (m)	es_casc (%)
1	240,00	25,2/10,7	8,7
2	21,04	22,0/11,3	4,8
3	19,45	24,4/11,4	8,5
Peças	**Prior.**	**L (cm)**	**es (cm)**
Pranchão	1	16 - 100	7 -7
Prancha	2	16 - 100	4 - 7
Tábua	3	10 - 100	1 - 4
Viga	4	08 - 16	4 - 8
Pontalete	5	7 - 8	7 - 8
Caibro	6	05 - 8	4 - 8
Ripão	7	5 - 7	2 - 2
Ripa	8	02 - 5	1 - 2
Sarrafo	9	2 - 10	2 - 4

(1)Devido a bifurcações do tronco, galhos grossos ou demais defeitos.

Ao processar o CalcMadeira**,** o resultado gerado foi 27 tábuas, 4 vigas e 2 caibros, com volume de 0,2891 m^3 e rendimento de 41% em relação ao volume de toras estimado. O desdobro obteve 27 tábuas, 3 vigas e 2 caibros, com volume total de 0,2991 m^3, e rendimento de 41% em relação ao volume das toras.

A Tabela 3 mostra a exatidão entre diâmetro com casca calculado e diâmetro com casca medido (di_casc_er), com maior dispersão na primeira e última toras da árvore 1, e a exatidão entre volumes calculado e medido da tora (vr_er). As maiores dispersões se repetem para a árvore 1, e na 1ª tora da árvore 2. Ambos validam a qualidade de ajuste das funções de afilamento.

Tabela 3. Exatidão (%) entre diâmetro calculado e diâmetro medido (di_casc_er), volume calculado e volume medido na tora (vr_er); entre espessura da peça serrada e programada (es_er), largura da peça serrada e programada (Ldc_er); e diferença entre quantidade de peças desdobradas e calculadas (nd-nc).

ArvTora	Peça	nc	nd	Exatidão % = [(Calculado – Medido)/ Medido] x 100		Exatidão % = [(Serrado – programado)/ programado] x 100		
				di_casc_er	vr_er	es_er	Ldc_er	nd-nc
11	Tábua	3	3	4,9	-11,2	6,0	-7,4	0
12	Tábua	2	2	1,6	0,9	-0,5	8,0	0
12	Tábua	1	1			43,3	-19,2	0
13	Tábua	2	2	-0,6	-1,9	-2,3	9,1	0
13	Tábua	1	1			4,0	4,9	0
14	Tábua	2	2	0,9	-0,9	0,0	1,1	0
14	Tábua	1	1			12,5	-1,7	0
15	Tábua	2	2	-6,2	-8,5	-12,5	12,4	0
15	Tábua	1	1			100,0	11,2	0
21[(1)]	Tábua	3	-	-1,9	13,3			
22	Tábua	2	2	1,5	-1,2	6,3	5,4	0
22	Tábua	1	1			25,0	8,3	0
23	Tábua	2	2	-1,7	-5,0	18,8	13,7	0
23[(2)]	Tábua	1	0					-1
24	Viga	1	1	0,2	-4,8	11,3	1,7	0
25[(3)]	Viga	1	0	2,3	-0,7			-1
31	Tábua	2	2			6,3	3,6	0
31	Tábua	1	1			50,0	0,0	0
32	Tábua	2	2	-1,2	0,3	-15,6	-3,7	0
32	Tábua	1	1			125,0	-6,4	0
33[(4)]	Viga	1	2		-4,5	-50,0	-12,3	1
34	Viga	1	1	3,5	-2,2	2,6	-1,9	0
35	Caibro	1	1	2,3	1,8	16,4	0,8	0
36	Caibro	1	1	1,1	-3,8	17,5	-0,8	0
Total		33	32					-1

[(1)]Tora não desdobrada devido ao comprimento ter sido menor do que o limite mínimo para o engenho (2 metros); [(2)]Não foi possível desdobrar a última peça: tábua calculada; [(3)]Tortuosidade da tora impediu o desdobro; [(4)]Calculo indicou viga, mas o desdobro permitiu duas tábuas.

Para as peças desdobradas, a Tabela 3 mostra a exatidão entre a largura programada da peça e medida nas peças serradas (Ldc_er). As maiores dispersões ocorreram na 1ª árvore. Como o calculo é baseado na circunferência, qualquer forma do tronco que se afaste da esfericidade aumentará a diferença entre dimensões programadas e obtidas no desdobro.

O erro entre espessura programada e obtida nas peça serrada (es_er) foi maior, pois um fator não controlado na operação de desdobro causou esta variação, devido à oscilação do carrinho do engenho no deslocamento da tora. Um maquinário de maior precisão aumentaria a exatidão entre as espessuras programada e executada. Nenhum valor de exatidão de Ldc_er ficou acima de 20%, mas es_er obteve 7 valores acima de 20% de exatidão.

Na comparação entre quantidade de peças desdobradas e calculadas (nd-nc) ocorreram pequenas divergências. Na tora 3 da árvore 2, a sobra do comprimento vertical sem casca ficou menor do que a espessura de 1 cm para desdobro da última tábua calculada, e a tora 5 impediu o aproveitamento de peças devido à sua tortuosidade. Na árvore 3 ocorreu outra falha de cálculo. O programa selecionou "Viga", mas foi possível retirar duas tábuas, que são superiores na ordem de prioridade de peças. Para as demais toras a demanda de peças foi atendida nas dimensões programadas.

2º Teste da rotina do Quadrado Circunscrito (2) e 3º Teste (rotina longitudinal 1/xD) (3)

A finalidade destes testes foi atender demandas de mercado. A serraria informou as peças do seu interesse, com suas dimensões, e a prioridade entre elas, conforme seu fluxo de venda.

No 2º teste o desdobro foi calculado pelo método do bloco, a partir de árvores, e no 3º o desdobro foi calculado pelo método longitudinal, a partir de toras. Na Tabela 4 são mostradas as dimensões das árvores e das toras utilizadas e das peças selecionadas para o desdobro, com a especificação dos testes.

Para o teste 2 foi utilizada a equação de afilamento de um conjunto de dez árvores de uma fileira adjacente às árvores selecionadas, adotando-se altura do toco de 15 cm. A espessura de casca foi medida em cada seção da tora, considerando a média de todas as árvores, e o comprimento das peças foi 3,1 m (margem de 10 cm), para comercialização.

Tabela 4. Diâmetro na altura do peito (Dap), altura total (Ht) e espessura de casca (es_casc) das árvores; diâmetro menor com casca (di_casc_menor), diâmetro maior com casca (di_casc), comprimento da tora; prioridade de seleção de peças (Prior.), com sua largura (L) e espessura (es), e o teste aplicado (Teste).

Árvore	Dap (cm)	Ht (m)	es_casc (%)	Teste
1	26,8	29,6	4,2	2
2	23,6	29,5	5,2	2
3	23,5	30,8	4,8	2
Tora	**di_casc_menor (cm)**	**di_casc (cm)**	**Comprimento (m)**	
1	21,9	20,4	3,1	3
2	18,6	17,3	3,1	3
3	16,2	15,1	3,1	3
4	16,7	15,5	3,1	3
5	15,2	14,1	3,1	3
6	13,0	12,1	3,1	3
7	17,8	16,6	3,1	3
8	15,5	14,4	3,1	3
9	14,1	13,1	3,1	3
Peças	**Prior.**	**L (cm)**	**es (cm)**	
Ripão	1	5	3	2
Ripa	2	4	2	2
Tábua	3	12	3	2
Ripa		4	2	3

Na operação da serraria, seguiu-se o procedimento usual, sem informar a quantidade de peças calculadas (nc) pelo CalcMadeira. No 2º teste, o método de desdobro adotado pela serraria foi empírico, com a retirada da 1ª costaneira, seguido do corte das peças na espessura definida, antes de chegar ao centro da tora. A tora era então girada, e nova costaneira retirada, com mesmo procedimento. Esta sequência foi repetida, seguindo a experiência do operador, para reduzir encanoamentos, rachaduras e obter maior aproveitamento das peças solicitadas. Nas Figuras 4A, B e C são mostradas a operação na serra circular, as peças brutas e finais (ripões e ripas) respectivamente.

A prioridade foi de serrar ripões de 5 cm x 3 cm e, nas sobras, ripas de 4 cm x 2 cm e, em 3ª prioridade, tábuas de 12 cm x 3 cm. A largura e a espessura das peças não foram medidas em função da uniformidade na produção, obtendo-se somente a quantidade de peças por tora.

Foram calculados pelo CalcMadeira 104 ripões e 15 ripas, com volume de 0,5040 m^3 e rendimento de 33%. Não foram calculadas tábuas, pois o fracionamento de ripões e ripas de larguras menores impossibilitam o cálculo das sobras com larguras suficientes para tábuas. Os resultados obtidos no desdobro foram 106 ripões e 32 ripas, com volume de 0,5538 m^3 e rendimento de 36%.

Fotos: Thomaz Correa e Castro da Costa

Figura 4. Operações na serraria (A), peças desdobradas (B), serragem final de ripões e ripas na serra circular (C).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados detalhados do CalcMadeira, diâmetro sem casca (di), quantidade de peças calculadas (nc) e quantidade de peças desdobradas (nd).

Os resultados de volume da tora indicam a perda de exatidão (vr_er) quando não se usa uma equação de afilamento da árvore, pois, no 2º teste usou-se uma equação de afilamento representativa, obtida por um conjunto de árvores. Ocorreram 14

Tabela 5. Exatidão (%) entre diâmetro calculado e diâmetro medido (di_casc_er), volume calculado e volume medido na tora (vr_er); diâmetro sem casca calculado (di_c) em cm, número de peças calculadas (nc) e número de peças serradas (nd), erro de peças calculadas (nd-nc).

ArvTora	Peça	nc	nd	Ex %			
				di_casc_er	vr_er	di_c	nd-nc
11	Ripão	12	13	6,8	-0,9	24,1	1
11	Ripa	3	1				-2
12	Ripão	8	14	9,9	17,3	22,2	6
12	Ripa	0	0				0
13	Ripão	8	9	8,1	18,3	20,3	1
13	Ripa	0	0				0
14	Ripão	6	4	9,7	18,4	18,3	-2
14	Ripa	0	0				0
15	Ripão	6	6	12,5	22,8	16,3	0
15	Ripa	0	0				0
16	Ripão	2	3	11,2	24,4	14,2	1
16	Ripa	2	1				-1
21	Ripão	8	9	2,8	-2,2	21,2	1
21	Ripa	0	3				3
22	Ripão	6	8	8,5	11,2	19,5	2
22	Ripa	3	2				-1
23	Ripão	6	4	5,1	14,1	17,8	-2
23	Ripa	0	1				1
24	Ripão	6	3	6,3	11,8	16,1	-3
24	Ripa	0	0				0
25	Ripão	2	3	7,1	14,1	14,3	1
25	Ripa	2	0				-2
26	Ripão	2	2	13,0	20,9	12,4	0
26	Ripa	0	1				1
31	Ripão	8	3	6,2	-0,9	21,2	-5
31[(1)]	Ripa	0	5				5
32	Ripão	6	8	7,9	14,2	19,6	2
32	Ripa	3	2				-1
33	Ripão	6	7	4,4	12,8	18,0	1
33	Ripa	0	1				1
34	Ripão	6	3	6,2	10,8	16,3	-3
34*	Ripa	0	3				3
35	Ripão	2	3	4,8	11,7	14,6	1
35	Ripa	2	1				-1
36	Ripão	2	4	3,1	8,2	12,9	2
36	Ripa	0	0				0
37	Ripão	2	0		9,8	11,0	-2
37	Ripa	0	0				0
[(2)]	Ripa		11				
Total		119	138				-19

[(1)]Peças rachadas (aproveitamento com ripas); [(2)]Sem identificação da tora e da árvore.

resultados com vies acima de 10% em 19 dados. Os valores de di_casc_er, embora com poucos resultados acima de 10%, apresentaram imprecisão significativamente maior comparada ao 1º teste.

No 3º teste, a Figura 5A mostra a operação na serra de fita, as Figuras 5B e C mostram as peças brutas e finais (ripas) respectivamente. A largura e a espessura das peças não foram medidas em função da uniformidade na produção, obtendo-se somente a quantidade de peças por tora.

Fotos: Thomaz Correa e Castro da Costa

Figura 5. Operação na serra de fita (A), peças desdobradas (B), serragem final de ripas na serra circular (C).

Na Tabela 6 é apresentado o resultado do 3º teste. A maior diferença foi de seis peças calculadas a menos em relação ao desdobro. Foram calculados pelo CalcMadeira 91 ripas, com volume de 0,2257 m^3 e rendimento de 30% (Tabela 6). Os resultados obtidos no desdobro foram 93 ripas, com exatidão total de 2%. A diferença entre peças desdobradas e calculadas por tora variou de -6 a 3.

Tabela 6. Numero de peças calculadas (nc) e serradas por tora (nd), diâmetro menor com casca calculado (di_casc_c), diâmetro sem casca calculado (di_c), erro de peças calculadas (nd-nc).

Tora	Peça	nc	nd	di_casc_c	vr_c	di_c	nd-nc
41		20	17	21,9	0,146	20,4	3
42		13	19	18,6	0,100	17,3	-6
43		10	7	16,2	0,074	15,1	3
51		10	12	16,7	0,099	15,5	-2
52	Ripa	9	9	15,2	0,062	14,1	0
53		3	1	13,0	0,048	12,1	2
61		13	15	17,8	0,101	16,6	-2
62		9	9	15,5	0,067	14,4	0
63		4	4	14,1	0,053	13,1	0
9		91	93		0,751		-2

Considerações sobre a aplicação do CalcMadeira para estimativa de peças serradas

No 1º teste, o CalcMadeira errou na seleção da peça três vezes em 33 (9% de erro). Na comparação com largura das peças serradas, a margem de erro ficou abaixo de 20%. As margens de erro aumentaram na comparação da espessura das peças, tendo como causa as imprecisões no procedimento de desdobro, com sete peças apresentando erros acima de 20%.

No 2º teste, com desdobro operacional, pelo fato do método do desdobro não ter sido o quadrado circunscrito, mas um método empírico que se aproxima do bloco, a habilidade do operador aumentou o rendimento com produção de ripas nas sobras. Contribuiram ainda peças rachadas na 1ª etapa do desdobro, e tortuosidade de toras. Esses fatores aumentaram o rendimento de ripas no desdobro, tornando menos exato o calculado para ripas, com 53% de erro. Por outro lado, toras sem defeito elevariam a produção de ripões, tornando menos exata a quantidade calculada, que foi de apenas duas peças (106-104), ou 2% de erro. Este mesmo erro percentual total de 2% repetiu-se no 3º teste, operando-se diretamente o desdobro longitudinal em toras, sem funções de afilamento.

Embora muitas operações de desdobro sejam empíricas, como a utilizada em Anjos e Fonte (2017), não seguindo exatamente o padrão de desdobro modelado pelo software, e ocorram alterações naturais que afetam a forma modelada, o software estimou com razoável precisão a produção de peças desdobradas nos três testes.

A rotina de desdobro pelo método do Quadrado Circunscrito (Bloco) pode ser usada para estimativas de desdobro em árvores de eucalipto. Para procedimentos de desdobro empiricos que se aproximam do bloco, embora com resultado apresentado menor que 2% de erro para a quantidade de peças de 1ª prioridade, espera-se uma subestimação em peças menores, pelo maior aproveitamento das costaneiras.

A rotina de desdobro pelo método longitudinal apresentou erro pequeno para quantidade de peças de um único tipo. Consideram-se, portanto, promissores os resultados gerados pelo CalcMadeira, como informação prévia de desdobros pelos métodos do bloco e longitudinal, gerando erros totais entre 2% e 14% nos três testes, embora sejam preliminares. Testes com maior variação do diâmetro, em outras espécies, e com maior número de árvores poderão aumentar a segurança do uso desta aplicação.

Agradecimentos

Ao projeto “SisCerrado - Produtividade madeireira no SIs e em sistemas de referência de modelos físicos de longa duração”, ao Miguel Gontijo pelos meios fornecidos, ao Walfrido Machado Albernaz, Emanuel da Silva Pinto Júnior, da Emater, e ao Reginaldo Azevedo Pereira, pelo apoio nos testes de validação, à Sara de Almeida Rios pela construção do processo do Inpi, ao Leonardo Pereira da Rocha e João Garcia pela solução do contrato com a SIG Informática Ltda, à Myriam Maia Nobre pelo processo de registro da marca, à Natalia Santos Fois, Enilda Alves Coelho e ao Fábio Hitoshi Ide pelo apoio nos processos do NTI, ao Diego de Oliveira Carvalho pela elaboração do Plano de Negócios, ao Felipe Henrique Figueiredo e Rafael de Deus Ribeiro da SIG Informática pelo suporte na conversão dos algoritmos para a linguagem Python, ao Renato Vinícius de Oliveira Castro, Renato da Silva Vieira, Marina Donária Chaves Arantes da UFSJ, pelas parcerias vinculadas ao desenvolvimento desta ferramenta, e à José Heitor de Vasconcellos, Vanderley Porfírio da Silva e Edilson Batista de Oliveira, pela parceria e por darem visibilidade a esta ferramenta.

Referências

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial**. Curitiba, 2016.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14807**: peças de madeira serrada: dimensões. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 10p.

ANJOS, R. A. M. dos; FONTE, A. P. N. Rendimento de madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 26-32, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.5965/223811711612017026.

BINOTI, D. H. B. **Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal**. 2012. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600006.

COSTA, T. C. e C. da; CAMPANHA, M. M.; GONTIJO NETO, M. M. **Quantificação de madeira roliça de eucalipto comparada a valoração em metro cúbico e lenha**: opções de renda em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 224). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1063397>.

CUNHA, A. B. da; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F. de; GORSKI, L.; CRUZ, R. C. da; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 241-250, 2015.

HEINRICH, D. **Simulação da produção da madeira serrada**. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**: tabelas completas: grandes regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2015/default_xls.shtm>. Acesso em: 16 jun. 2016.

JUÍZO, C. G.; ROCH, M. P.; BILA, N. F. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 543-550, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.062213.

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. G. H. Taper functions and their applications in forest inventory. **Forest Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969. DOI: https://doi.org/10.5558/tfc45278-4.

LEITE, H. G. **Conversão de troncos em multiprodutos de madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MORAES NETO, S. P. de. **Madeira de eucalipto para serraria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. 56 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 340). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092101>.

NUNES, G. V. P. **Algoritmos para geração de padrões de corte paralelo e radial no processo de toras de madeira**. 2013. 77 f. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, E. B. de; HALISKI, M.; NAKAJIMA, N. Y.; CHANG, M. **Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 220). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898993>.

OLIVEIRA, E. B. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898050>.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 70-83, 2002.

SILVA, M. L. M.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1133-1139, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000600015.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600007.

TEKL STUDIO. **CultLog software**. Detva, 2018. Disponível em: <https://www.cutlog.com/index.php/downloads>. Acesso em: 21 ago. 2018.

25

A viabilização econômica da cultura do eucalipto

José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira
Flávio José Simioni
Cláudio César de Almeida Buschinelli

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Focada ao atendimento de demandas do produtor rural, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa, em parceria com a Universidade do Estado de Santa Catarina-Udesc, oferece no presente capítulo uma abordagem prática sobre o negócio florestal sob a ótica da análise sistêmica de cadeias produtivas agropecuárias e dos estudos de viabilidade econômica de sistemas de produção florestal. O objetivo é destacar para o setor produtivo aspectos importantes a serem considerados dentro e fora da propriedade rural, para o desenvolvimento de um negócio florestal sustentável considerando diferentes arranjos organizacionais.

O eucalipto tem sido o principal gênero florestal plantado no Brasil para a produção de madeira destinada à indústria de celulose, à produção de carvão vegetal utilizado nas siderúrgicas, para a produção de painéis e chapas de madeira, e à produção de energia a partir da lenha, cavaco, pellets e outras formas de uso de derivados de madeira para estes fins (IBÁ, 2017).

A área plantada de eucalipto atualmente no Brasil varia de acordo com as fontes consultadas, mas estima-se algo entre 5,67 milhões de hectares (IBÁ, 2017) e 7,41 milhões de hectares (IBGE, 2019) em 2017. A área plantada de eucalipto aumentou muito entre 2005 e 2015 em várias regiões do País, mantendo-se relativamente estável nos últimos anos e mostrando um leve decréscimo em 2017, em relação a 2016, de acordo com o IBGE (2019).

A propriedade das florestas plantadas (considerando eucalipto, pinus e outras espécies) por segmento industrial no país distribui-se atualmente da seguinte forma: 35% da área plantada pertencem ao segmento industrial de celulose e papel, 30% a produtores florestais independentes, 13% à indústria de siderurgia a carvão vegetal, 9% a investidores financeiros, 6% à indústria de painéis e pisos laminados, 4% à indústria de produtos sólidos de madeira e 3% a outros segmentos industriais (IBÁ, 2018).

O setor contribuiu com 1,1% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional em 2017, representando 6,1% do PIB industrial, US$ 9 bilhões ao saldo da balança comercial, R$ 11,5 bilhões à arrecadação de tributos (0,9%) e 508 mil postos de trabalhos diretos. O setor tem realizado investimentos recentemente, mesmo com o baixo crescimento da economia nos últimos anos, tendo investido R$ 3,2 bilhões em plantios florestais e R$ 3,5 bilhões em investimentos industriais (IBÁ, 2018).

A evolução da produção da silvicultura brasileira no período de 1990 a 2017 pode ser observada na Figura 1. Em relação aos patamares médios de produção na década de 1990, todos os produtos da silvicultura apresentaram tendência de alta na sua produção até 2012 ou 2013, sendo a produção de madeira para celulose o único produto cuja tendência não apresentou alteração nos últimos anos. A partir de 2013, a Pesquisa da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) passou a separar a produção por espécie (eucalipto,

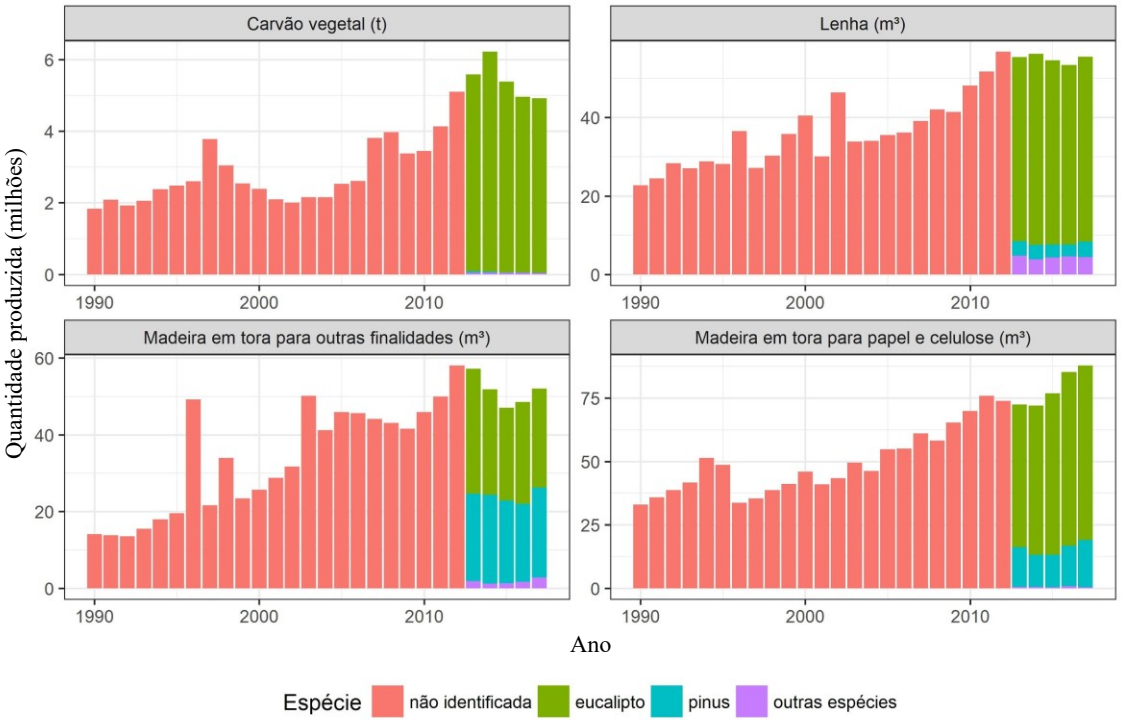


Figura 1. Evolução da produção nacional de produtos da silvicultura de acordo com o uso.
Fonte: Elaboração a partir da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) (IBGE, 2019).

pinus e outras), possibilitando perceber que a maior parte da produção da silvicultura nacional é oriunda de eucalipto, sendo o pinus a segunda espécie de maior importância. A aplicação do eucalipto se concentra em produtos de menor valor agregado e rotações de curta duração, como lenha, madeira para carvão vegetal, celulose e chapas de fibra[1], enquanto que a madeira de pinus destina-se principalmente à serraria, laminação, chapas de fibra e celulose.

Este aumento de produção corrobora com a elevação da área plantada de eucalipto durante as duas últimas décadas, o que aumentou a sua oferta e acabou gerando um excedente em algumas regiões, com impacto sobre os preços recebidos, principalmente na região Centro-Oeste no caso da lenha e em Minas Gerais no caso do carvão vegetal (Simioni et al., 2017). O aumento da área plantada aconteceu tanto em regiões onde já haviam muitas áreas de florestas como em regiões novas, alterando pouco a concentração da área plantada nos municípios brasileiros e a localização do centro

[1] Madeira em tora para outras finalidades englobam painéis de fibras de madeira, mourões, serraria, laminação, madeira tratada, e outros produtos da silvicultura.

de gravidade da produção nacional de lenha e carvão vegetal ao longo deste período (Simioni et al., 2017).

Nos últimos anos tem sido comum o relato de produtores rurais que investem em florestas reclamando de terem recebido preços muito aquém do esperado no momento do plantio, ou mesmo terem problemas para a comercialização da sua produção (Moreira et al., 2019). Isto decorre, em parte, pelo excesso de oferta, pelo aumento da área plantada e da produtividade, esta última principalmente nas novas fronteiras florestais (Centro-Oeste), como pela retração ou estabilização da demanda decorrente da crise econômica do Brasil nos últimos anos, o qual afetou vários setores da economia, tendo impacto mais significativo no setor siderúrgico (carvão vegetal) e no consumo de madeira para energia (lenha). Produtores que se inseriram em condições de arranjos produtivos locais específicos ou consideraram o planejamento da sua atividade, ponderando fatores importantes na rentabilidade de projetos florestais (mercado, clima, material genético, custo de oportunidade da terra, escala de produção, distância do mercado consumidor e modal de colheita e transporte), estão mais aptos a passarem por este período de ajustes no mercado, em comparação com aqueles que não consideraram tais fatores (Higa et al., 2006; Moreira et al., 2019).

Portanto, o objetivo do presente capítulo foi apresentar a experiência acumulada com a análise da cadeia produtiva em quatro polos de produção, considerando a análise dos custos de produção e riscos da atividade florestal destinada ao uso energético. Neste sentido, além desta introdução, o presente capítulo apresenta na seção 2, a base metodológica dos estudos de cadeia produtiva e de custos de produção utilizada pela equipe de pesquisa. A seção 3 apresenta um breve relato das pesquisas feitas nos polos de produção estudados (em Santa Cruz do Sul, RS, em Itapeva, SP, em Minas Gerais e em Rio Verde e Cristalina, GO). Por fim, as principais conclusões são sintetizadas a partir das experiências, como também são apresentadas recomendações para os produtores que já estão ou que queiram entrar no negócio florestal, no intuito de subsidiar a tomada de decisões para que a atividade florestal seja rentável e sustentável.

Cadeia produtiva como unidade de análise - base teórica e metodológica

Uma visão mais holística de análise da agricultura, considerando as inter-relações entre os sistemas, foi apresentada por Davis e Goldberg (1957). Esta, de forma mais ampla, buscava contemplar a soma total das operações desde a entrada dos insumos agrícolas, a produção e armazenamento, até a distribuição dos produtos agrícolas. Depois disso, Goldberg (1968) incorporou as influências institucionais nas relações de troca e esta metodologia conquistou espaço entre os estudiosos pela sua natureza não complexa e eficaz.

Inicialmente, os autores utilizaram a matriz insumo-produto como base teórica e, mais tarde, a noção de Commodity System Approach (CSA) foi utilizada por Goldberg (1968) para avaliar sistemas de produção. A partir desta lógica, os estudos focaram o encadeamento das atividades que transformam insumos em produtos finais.

Tal abordagem, com visão mais sistêmica, foi amplamente utilizada e recebeu novas contribuições, tal como a de Morvan (1988) com a noção de *filiere*, que a definiu como uma sucessão de operações de transformação de bens.

No Brasil, as técnicas de análise de cadeias produtivas foram incorporadas pela Embrapa, visando seu planejamento estratégico (Johnson et al., 1991). Assim, a análise por esta abordagem extrapola os limites das propriedades rurais, apresenta visão sistêmica e se constitui em uma importante metodologia para diagnosticar realidades e gerar informações aos gestores, no intuito de subsidiar a tomada de decisão. Em síntese,

> [...] uma cadeia produtiva é composta por elos que englobam as organizações supridoras de insumos básicos para a produção agrícola ou agroindustrial, as fazendas e agroindústrias com seus processos produtivos, as unidades de comercialização atacadista e varejista e os consumidores finais, todos conectados por fluxos de capital, materiais e de informação (Castro et al., 2002. p. 8).

Nesta perspectiva, vários enfoques analíticos e com objetivos diferentes podem ser aplicados sobre uma cadeia de produção (Simioni; Hoeflich, 2007). Nos estudos relacionados à produção de madeira de eucalipto para uso energético apresentados neste livro, utilizou-se o modelo geral da cadeia produtiva (Figura 2) como unidade de análise, ou seja, é a referência ou objeto de estudo. Nesta, o enfoque analítico

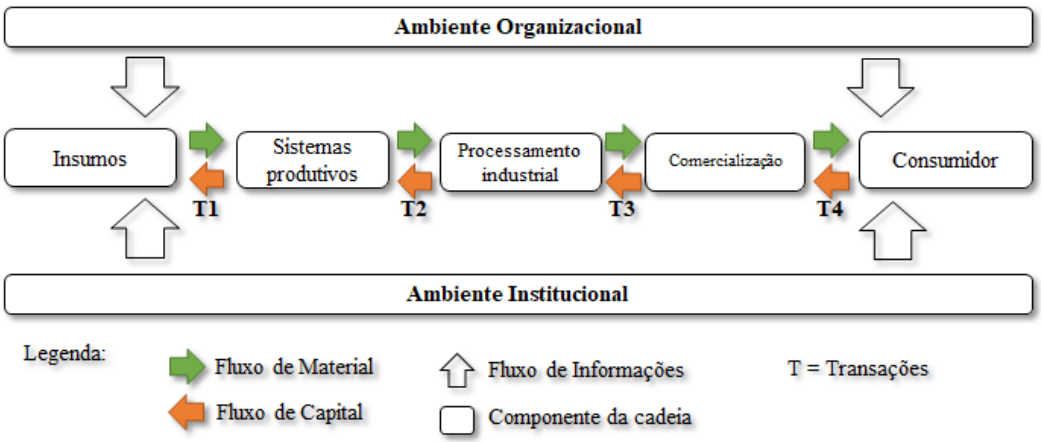


Figura 2. Modelo geral de uma cadeia produtiva.
Adaptado de Castro et al. (2010)

utilizado foi a análise diagnóstica e prospectiva objetivando obter uma leitura ampla da realidade, de modo a entender todo o funcionamento da cadeia e suas inter-relações e, a partir daí, prospectar as demandas da cadeia que possam contribuir para melhorar seu desempenho competitivo.

Os diagnósticos são realizados em polos de produção, escolhidos de forma a representar regiões dinâmicas e que apresentam cadeias produtivas completas. Trata-se de um olhar micro, cujo foco são os diferentes segmentos que compõem a cadeia produtiva de biomassa florestal (lenha ou carvão vegetal). Desse modo, são considerados os segmentos fornecedores de insumos, a produção florestal nas fazendas, os sistemas de colheita e transporte e as unidades consumidoras. Todos os segmentos da cadeia são visitados e avaliados por uma equipe de pesquisadores, o que permite diferentes olhares sobre o mesmo objeto de análise.

A amostragem é não aleatória, autogerada e definida por exaustão. A não aleatoriedade é configurada, pois as empresas e produtores são selecionados a partir de indicações das principais instituições presentes na região estudada, tais como sindicatos, cooperativas, universidades e outras instituições relacionadas ao setor. Desta forma, tem-se um mapeamento geral dos diferentes segmentos que compõem a cadeia produtiva. De forma complementar, novos agentes são identificados na medida em que a pesquisa de campo é executada, a partir da indicação dos entrevistados, o que caracteriza a pesquisa como autogerada. A exaustão configura o limite da amostragem, na medida em que os pesquisadores percebem a saturação, ou seja, quando se verifica que não há acréscimo de novas informações relevantes com o aumento do número de agentes entrevistados.

As técnicas de pesquisa utilizadas para a análise foram elaboradas e sintetizadas tendo como base os procedimentos descritos por Castro et al. (2010) e Belei et al. (2008). De maneira geral, a estratégia metodológica das visitas para a coleta de dados e informações compreende as seguintes etapas:

- Apresentação dos objetivos do estudo: nesta fase, os pesquisadores são apresentados aos representantes das companhias ou produtores rurais, esclarecendo-os sobre os objetivos da pesquisa.
- Entrevistas: são semiestruturadas e realizadas pela equipe de pesquisadores, contendo um roteiro planejado de questões abertas que abordam as questões de interesse relacionadas à cadeia de produção analisada. As questões que compõem as entrevistas são específicas de acordo com o segmento da cadeia entrevistado e, via de regra, sofrem adaptações de acordo com as particularidades do agente entrevistado. O conteúdo das entrevistas é gravado e, posteriormente, transcrito para posterior análise, seguindo as orientações para análise de conteúdo apresentados por Morgan (1988) e Godoy (1995).

- Conhecimento do sistema de produção: apresentação, por parte da empresa ou produtor entrevistado, do sistema de produção empregado e outras características relacionadas à produção e uso de biomassa florestal.
- Observação: acompanhamento in loco do sistema de produção, com registros de vídeos e fotografias.
- Painel: realização de painéis de especialistas, de acordo com a metodologia proposta por De Zen e Peres (2002), com agentes intencionalmente selecionados para descrever e coletar as informações técnicas e econômicas dos custos e receitas associadas ao modal de produção delineado para representar a atividade na região.
- Análise de risco: identificação das principais variáveis de risco que impactam o negócio na visão dos participantes do painel e definição da distribuição de probabilidade que melhor representa cada variável, quando pertinente. Análise do risco do sistema modal de produção pelo método de Monte Carlo.
- Dados primários: dados dos produtores ou empresas registrados e cedidos à equipe de pesquisadores para compor outras análises, tais como custos de produção.

Considerações sobre mercado, escala e sistema de produção

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos com a análise da cadeia produtiva e dos custos de produção de quatro polos de produção, contemplando a descrição do sistema de produção empregado e seus respectivos custos de produção. De forma complementar, são estabelecidas as inter-relações com o mercado considerando as diferentes escalas de produção.

O polo produtivo de Itapeva, SP

O estudo da cadeia produtiva de lenha de eucalipto em Itapeva/SP foi realizado em 2013, a qual foi caracterizada como uma cadeia completa, com segmentos historicamente constituídos, dada à vocação florestal da região (Figura 3). De acordo com Simioni et al. (2018a), o polo produtivo é diversificado, apresenta diversos setores econômicos, tais como a produção de grãos, indústria de mineração, cerâmica vermelha, celulose e papel e indústrias de processamento mecânico da madeira. A produção florestal é composta basicamente por duas categorias de produtores: a) pequenos e médios agricultores que produzem florestas para uso múltiplo e b) empresas consumidoras que possuem plantios florestais para produzir madeira como insumo para produção de energia em seus processos industriais. A produção de eucalipto é feita em áreas declivosas, com alta produtividade, porém com altos custos de colheita (semi-mecanizado). Observou-se instabilidade no mercado, sobretudo relacionado aos

Fotos: Flávio José Simioni

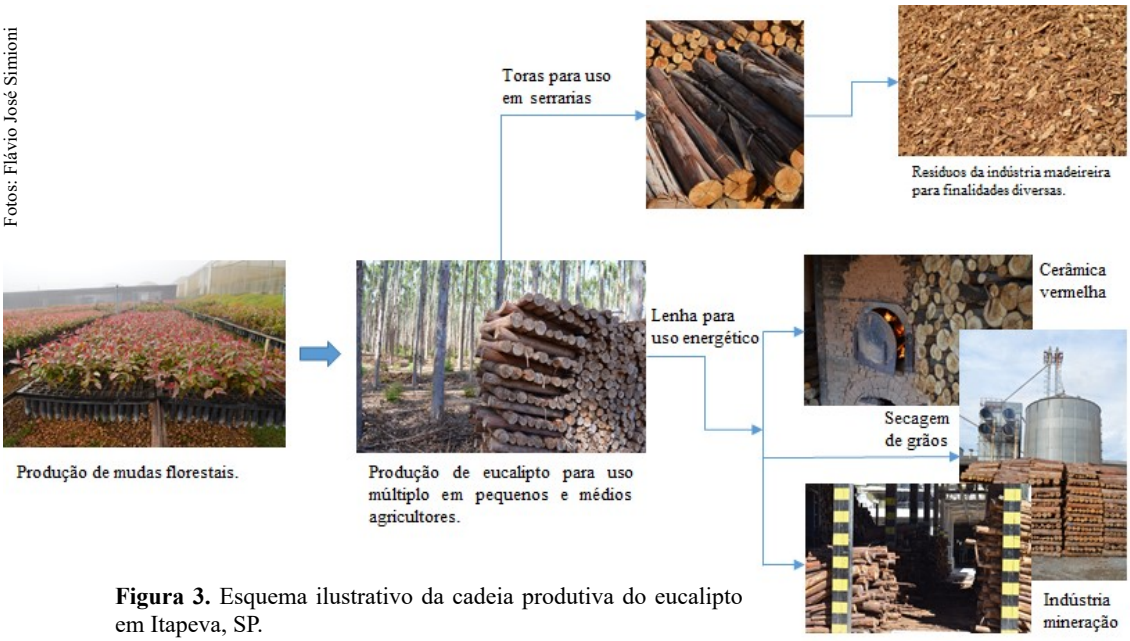


Figura 3. Esquema ilustrativo da cadeia produtiva do eucalipto em Itapeva, SP.

produtores de pequena e média escala em se manter na atividade florestal, devido à queda nos preços, o que tem levado a substituição das áreas usadas para plantio florestal para uso com cultura de grãos ou outras culturas florestais como o plantio de pinus para produção de resina. Por outro lado, as principais empresas consumidoras de lenha buscavam a autossuficiência, levando a um movimento de integração vertical. Considerando os aspectos institucionais e organizacionais, o polo produtivo apresenta ambiente produtivo favorável à cadeia produtiva, constituindo-se de agentes que atuam na organização da cadeia e na formação de recursos humanos.

O sistema modal de produção delineado para representar a região foi o utilizado pelas empresas florestais, com áreas de plantio em torno de cinco mil hectares, sendo consideradas empresas florestais de médio porte. A área de plantio descrita foi de média declividade (25 graus) e alta produtividade. As atividades de preparo do solo, plantio, adubação, controle de plantas daninhas e formiga, e colheita eram realizadas de forma manual ou semi-mecanizada. O ciclo de produção modal utilizava duas rotações de sete anos cada, totalizando 14 anos de duração, e uma produtividade esperada de 51,02 m³/ha ano na primeira rotação (500 st/ha aos sete anos) e 40,82 m³/ha ano na segunda rotação (400 st/ha aos sete anos). A correção do solo foi realizada com 900 kg/ha de calcário, e foram aplicados 633 kg/ha de adubo na primeira rotação e 250 kg/ha na segunda rotação. No ano de levantamento de dados, as áreas colhidas eram mais declivosas, o que elevou a média esperada de custos de colheita, sendo R$ 9,00/st

para corte, R$ 13,00/st para baldeio, R$ 2,50/st para carregamento e R$ 10,00/st para transporte a uma distância média de 30 quilômetros do consumidor. O custo de arrendamento da terra foi R$ 1.100,00/alqueire (R$ 458,33/ha), e a taxa mínima de atratividade real considerada foi 4,3% ao ano (Moreira et al., 2015). O preço considerado nas análises foi R$ 55,00/st, por ser o mais comum na época em um mercado estável, mas em outubro de 2013, momento de coleta dos dados, o mercado regional já passava por um período de excesso de oferta, sendo relatados preços variando de R$ 40,00/st a R$ 45,00/st. O regime modal de manejo praticado mostrou-se viável do ponto de vista econômico para preços praticados em momentos de mercado equilibrado, mas com a geração de um pequeno adicional de riqueza aos produtores, com um Valor Presente Líquido (VPL) de R$ 437,35/ha após 14 anos, um Valor Anual Equivalente (VAE) de R$ 42,23/ha, uma Taxa Interna de Retorno (TIR) real de 5,3% ao ano e um Custo Médio de Produção (CMP) de R$ 54,26/st. No momento da coleta de dados, os produtores não estavam obtendo renda suficiente para remunerar todos os fatores de produção utilizados no projeto. Este primeiro levantamento permitiu constatar, na prática, algo já conhecido e muito destacado na literatura sobre viabilidade econômica de plantios de eucalipto, mas desconhecido ou pouco considerado pelos pequenos e médios produtores que se inseriram na atividade, a elevada participação dos custos de colheita (45%), de transporte (18%) e dos custos de oportunidade da terra (13%) e do capital (7%) no custo total do investimento florestal, especialmente neste modal em áreas declivosas e com operações semi-mecanizadas.

No ano seguinte (2014) os dados foram atualizados para a execução da análise de risco, assim como o modal de colheita e a produtividade esperada, já sendo realizado em áreas menos declivosas, que não chegavam a impactar o custo de implantação, mas impactavam significativamente os custos de colheita (R$ 18,50/st incluindo o corte, baldeio e carregamento), o custo de arrendamento da terra (R$ 1.350,00/alqueire, R$ 562,50/ha), com uma produtividade esperada de 600,00 st/ha no primeiro corte e 480,00 st/ha no segundo corte (Moreira et al., 2017b). Cenários com pequenas variações na distância de transporte foram analisados para verificar o seu impacto no risco da atividade.

O novo cenário de custo de colheita, mesmo com o mesmo custo de silvicultura e um custo maior de arrendamento de terra, permitiu elevar o VAE para R$ 623,95/ha ano, a TIR real para 12,85% ao ano, e reduziu o CMP para R$ 45,94/st entregue no cliente, e R$ 17,44/st em pé, ilustrando a sensibilidade da rentabilidade da atividade na região, à produtividade do sítio e ao custo de colheita florestal.

Considerando o resultado da análise de risco, a média do valor anual equivalente (VAE) do projeto na distância de 30 km foi de 486,81 R$/ha ano; a média da taxa interna de retorno (TIR) real foi 10,44% ao ano; o valor médio do custo médio de produção da madeira entregue no cliente (CMPP_Cl) foi 47,78 R$/st, sendo este o valor mínimo a ser recebido pelo produtor para igualar o valor presente líquido do

projeto a zero; o valor médio do custo médio de produção da madeira em pé (CMPP_Pe), que não inclui a colheita e o transporte, foi 18,21 R$/st; e a média do valor máximo que poderia ser pago pela madeira em pé (preço pago no cliente descontando-se os custos de colheita e transporte) foi 25,43 R$/st. A probabilidade do investimento ser viável (VAE ≥ 0) no cenário modal (30 km de distância), considerando o preço em mercado estável e os novos custos, foi 85%. A mesma caiu para 73% a uma distância de transporte de 40 km, e aumentou para 93% para uma distância de 20 km. Outro aspecto que chamou atenção foi a diferença entre a amplitude de variação proporcional entre o preço da madeira entregue no cliente e o preço que poderia ser pago pela madeira em pé. Variando-se o preço no cliente de R$ 40,00/st a R$ 70,00/st, os custos de colheita entre R$ 18,50/st e R$ 22,50/st e a produtividade entre 450 st/ha e 650 st/ha no primeiro corte[2], observou-se um valor máximo a ser pago pela madeira variando de R$ 7,74/st a R$ 41,45/st no cenário com 30 quilômetros de distância (Tabela 1). Os outros cenários de distância apresentaram amplitude da variação muito semelhante, com alterações nos valores mínimos e máximos, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Estatísticas dos indicadores de viabilidade econômica nos diferentes cenários de distância de transporte.

Distância	Resultados	VAE	TIR	CMPP_Cl	CMPP_Pe	Valor_Pe
20 km (R$ 7/st)	Média	685,33	12,88	44,78	18,21	28,43
	Moda	673,56	15,01	42,92	17,44	28,86
	Máximo	2.078,99	24,69	51,29	21,79	44,45
	Mínimo	-577,92	-10,83	41,60	16,10	10,74
	% Viabilidade	93,72	93,73	100,00	-	-
30 km (R$ 10/st)	Média	486,81	10,44	47,78	18,21	25,43
	Moda	475,25	12,78	45,92	17,44	25,86
	Máximo	1856,06	23,26	54,29	21,79	41,45
	Mínimo	-751,80	-20,49	44,60	16,10	7,74
	% Viabilidade	85,34	85,36	100,00	-	-
40 km (R$ 13/st)	Média	288,29	7,58	50,78	18,21	22,43
	Moda	288,38	10,75	48,92	17,44	22,86
	Máximo	1633,13	21,72	57,29	21,79	38,45
	Mínimo	-925,68	-40,89	47,60	16,10	4,74
	% Viabilidade	72,87	72,89	92,92	-	-

Fonte: extraído de Moreira et al. (2017b).

[2] A produtividade do segundo corte manteve-se 80% da produtividade obtida no primeiro corte.

Os resultados obtidos neste primeiro polo de produção florestal destacaram, numericamente, a importância do planejamento florestal antes da inserção do produtor na atividade, demonstrando o impacto dos custos de colheita e transporte, bem como da produtividade, na rentabilidade da atividade. Outro aspecto relevante é a importância de o produtor conhecer o seu cliente, a amplitude de preços que o mesmo paga e a que distância ele se localiza para uma melhor avaliação do risco da atividade florestal. De acordo com a análise, uma variação proporcional no preço pago pelo cliente apresenta uma amplitude proporcional superior no preço pago pela madeira em pé, e esta amplitude será maior quanto maior for a participação do custo de colheita e transporte no preço pago pelo cliente.

O polo produtivo de Santa Cruz do Sul, RS

A cadeia produtiva da lenha de eucalipto no polo produtivo de Santa Cruz do Sul, RS, foi avaliada em 2014 e 2015. De acordo com Simioni et al. (2018b), a cadeia está alicerçada na produção florestal de pequena escala, baseada na agricultura familiar vinculada à produção de fumo, que é uma importante atividade econômica da região (Figura 4). A cadeia é coordenada pela indústria do tabaco, na qual a lenha é um importante insumo para sua produção nas propriedades rurais (secagem do fumo em estufa) como também para o processo industrial (indústria fumageira). A produção florestal é realizada pelo cultivo de eucalipto proveniente de mudas de sementes e insumos locais. A área média dos plantios varia de 0,2 a 2,5 hectares, cujo objetivo

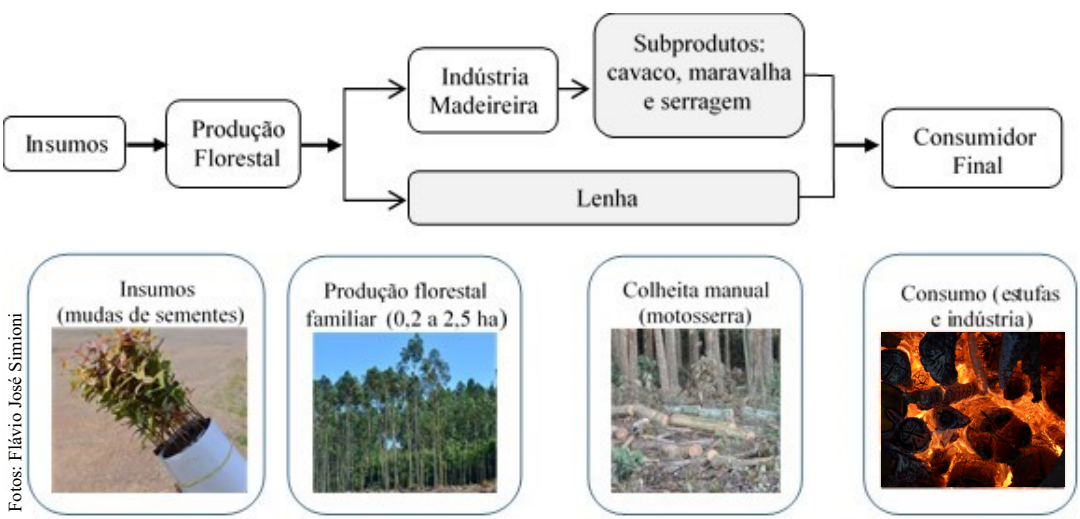


Figura 4. Esquema ilustrativo da cadeia produtiva do eucalipto em Santa Cruz do Sul, RS.
Fonte: Adaptado de Simioni et al. (2018b).

principal é o fornecimento de lenha para a secagem do fumo nas estufas. As atividades florestais são realizadas com baixo uso de tecnologias e insumos externos e, apesar disso, apresenta altas produtividades, o que resulta na produção de lenha de baixo custo e elevada rentabilidade da atividade. A lenha é utilizada como insumo na propriedade rural ou comercializada para outros produtores a curtas distâncias para transporte, o que resulta em risco extremamente reduzido de liquidez. A colheita é realizada no período da entressafra do fumo (no inverno) utilizando-se de motos-serra. A lenha também é consumida pelo segmento industrial, que é diversificado, mas principalmente pela indústria do tabaco. O processamento mecânico por serrarias também foi observado, porém ainda é incipiente e representa uma oportunidade para absorver produtos florestais de maior valor agregado (toras para serraria). Entretanto, vários produtores relataram ocorrência de ações oportunistas pelas serrarias da região, o que eleva os custos de transação e reduz a predisposição dos pequenos produtores em aderir a sistemas de produção de toras de maior valor agregado, devido à incerteza do retorno deste valor à produção.

Existem cerca de 50 mil produtores de fumo no Rio Grande do Sul e estima-se que a demanda de lenha por produtor seja cerca de 60 st de madeira por safra de fumo (ano), resultando em uma demanda anual de 3 milhões de metros estéreos de madeira (Simioni et al., 2015). A maior parte dos produtores de fumo são autossuficientes em lenha de eucalipto (60%), os 40% restantes adquirem lenha daqueles produtores que possuem excedente para comercialização ou de médios produtores que buscam se especializar na produção de lenha. Simoni et al. (2015) relataram que as estufas tradicionais utilizadas pelos produtores consomem cerca de 5 kg de lenha de eucalipto para secar 1 kg de tabaco. Segundo Simioni et al. (2015), as empresas fumageiras estavam incentivando a adoção de estufas mais tecnificadas pelos produtores, com ventilação forçada, o que traria melhor qualidade para a secagem do tabaco e reduziria a demanda de lenha e mão de obra para execução da atividade. O potencial de redução pode chegar a 50% de ambos os fatores de produção (Hoff, 2014). Entretanto, a limitação de capital e capacidade e confiabilidade da rede em fornecer energia elétrica aos produtores rurais são obstáculos à adoção desta tecnologia (Simioni et al., 2015). Os autores ainda destacam que a sua adoção poderia representar uma redução de renda para o produtor, pois reduziria o consumo de dois fatores de produção de sua propriedade (trabalho e lenha), cuja remuneração é apropriada pelo produtor rural, substituindo-os por fatores de produção de terceiros (capital e energia elétrica), sendo necessários mais estudos para verificar os benefícios da adoção da tecnologia para o produtor.

Em relação ao sistema de produção adotado pelos pequenos produtores, destacou-se a heterogeneidade presente nas práticas silviculturais, o que dificultou a elaboração de um sistema de produção modal utilizado pelos pequenos produtores, sendo elaborado um sistema modal recomendado, conforme descrito por Moreira et al. (2017a). O ciclo de produção modal foi de baixa tecnologia, com densidade de

plantio de 1.667 plantas por hectare, um ciclo de produção com duas rotações de sete anos cada, com produtividade esperada de 46 m³/ha ano na idade de corte das duas rotações. O preparo do solo foi realizado com subsolagem rasa (com trator de 55 cv), em áreas declivosas e marginais na propriedade. É realizado o combate à formiga e o controle de matocompetição, e uma adubação de base e outra de cobertura, totalizando 200 g de adubo químico por planta (332,2 kg/ha). A colheita é semi-mecanizada, geralmente executada pelo próprio produtor, e o baldeio é realizado com trator e reboque ou mesmo carro de boi. O fluxo de caixa resultante do cenário modal pode ser observado na Figura 5.

FLUXO DE CAIXA / ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Receita total								24.233,72							24.233,72
Operações Silviculturais	-2.231,32	-52,05						-486,57	-52,05	-138,90					
Colheita e transporte								-13.526,94							-13.526,94
Arrendamento da terra		-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00

Figura 5. Fluxo de caixa do sistema de produção modal em Santa Cruz do Sul, RS.
Fonte: Adaptado de Moreira et al. (2017a).

A elevada participação dos custos de colheita e transporte para o pequeno produtor, mas cerca de 40% deste custo é relativo à mão de obra, sendo uma remuneração direta do trabalho do produtor rural (Figura 5). Ainda assim, este custo muitas vezes não se destaca aos olhos do produtor na pequena propriedade, uma vez que as máquinas e equipamentos utilizados (trator, motosserra, reboque) são de uso geral na propriedade, sendo considerados pelo produtor apenas os custos com combustíveis e lubrificantes envolvidos na operação. Mesmo com os custos de colheita e terra elevados, quando comparados aos custos silviculturais, a rentabilidade da atividade foi positiva e considerada satisfatória pelos produtores, com um VPL de R$ 6.793,20/ha, um VAE de R$ 634,65/ha ano e uma TIR de 16,05% acima da inflação. O custo médio de produção foi R$ 42,10/st, muito inferior aos R$ 53,00/st recebido pelos produtores. O valor que o custo de cada uma das etapas de produção e da remuneração dos fatores de produção próprios se apropria do preço recebido por uma unidade de produto pode ser observado na Figura 6.

Dos R$ 53,00/st recebido pelo produtor, apenas R$ 3,24/st são devidos às atividades silviculturais, e que a colheita e transporte respondem por um valor quase nove vezes maior (R$ 29,04/st). Após a remuneração de todos os fatores de produção, o produtor recebe o equivalente a R$ 7,43/st como excedente econômico do sistema de produção a valores no presente (Figura 6). Considerando que a maioria das operações são manuais ou semi-mecanizadas, e que a mão de obra utilizada e a terra são de propriedade do produtor, a percepção de valor com a produção da lenha pode ser ainda maior, justificando a percepção de viabilidade do cultivo da lenha para consumo próprio e comercialização do excedente com vizinhos.

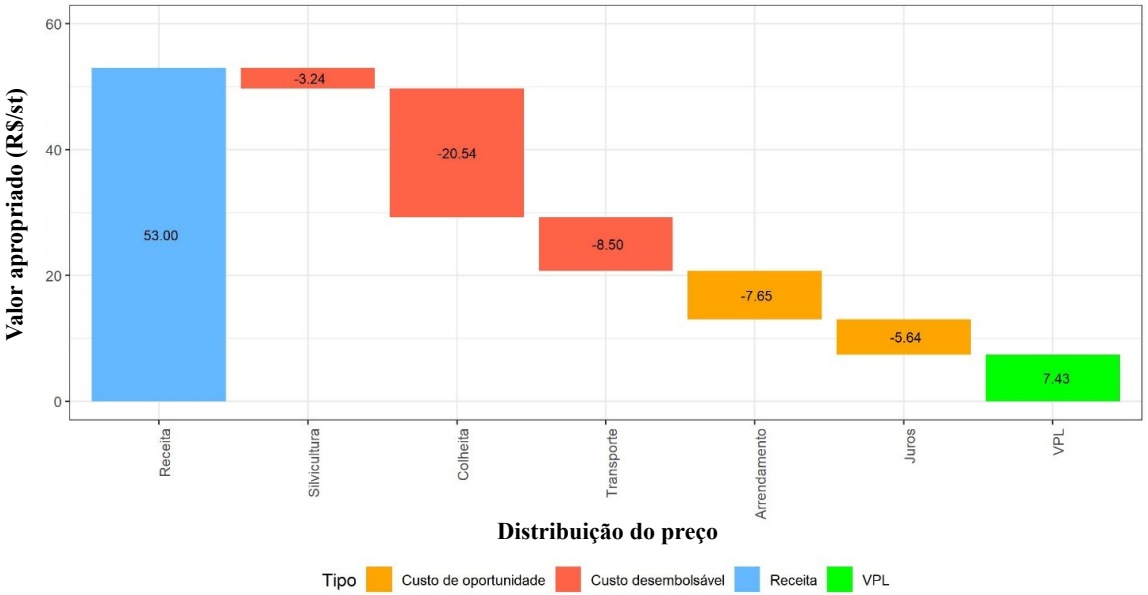


Figura 6. Distribuição do preço recebido pelos custos e receitas do sistema de produção.
Fonte: Adaptado de Simioni et al. (2018b).

Devido à baixa escala de produção e de uso de tecnologia, os inventários florestais eram inexistentes geralmente neste grupo de produtores, que geralmente mantinham a mesma idade de corte independente do cenário econômico ou de produtividade de suas florestas. Visando apresentar o potencial de ganho econômico que o planejamento florestal pode trazer para os produtores, foram consultados especialistas da região e estimaram a distribuição de probabilidade do preço de comercialização e da produtividade nos últimos anos, para a realização de uma análise de risco da viabilidade da cultura. Vinte diferentes regimes de manejo florestal (ciclos com uma e duas rotações, com idades de corte variando de seis a nove anos cada) tiveram seus fluxos de caixa analisados em cada uma das 100.000 simulações, em três diferentes cenários de perda de produtividade na segunda rotação (corte) do ciclo, sendo registrados quais foram os regimes de manejo que permitiram o máximo retorno econômico em cada cenário simulado (Josino et al., 2020). A cada simulação, a tabela de volume do talhão, que reflete a produtividade esperada a cada idade de corte, era substituída de acordo com a produtividade sorteada, mantendo a coerência da expectativa de produtividade do talhão para todas as idades de corte. A frequência com que cada regime de manejo foi escolhido como a estratégia de máximo retorno econômico, bem como as combinações de preço e produtividade esperadas em que o mesmo resultou no máximo retorno, pode ser observada na Figura 7.

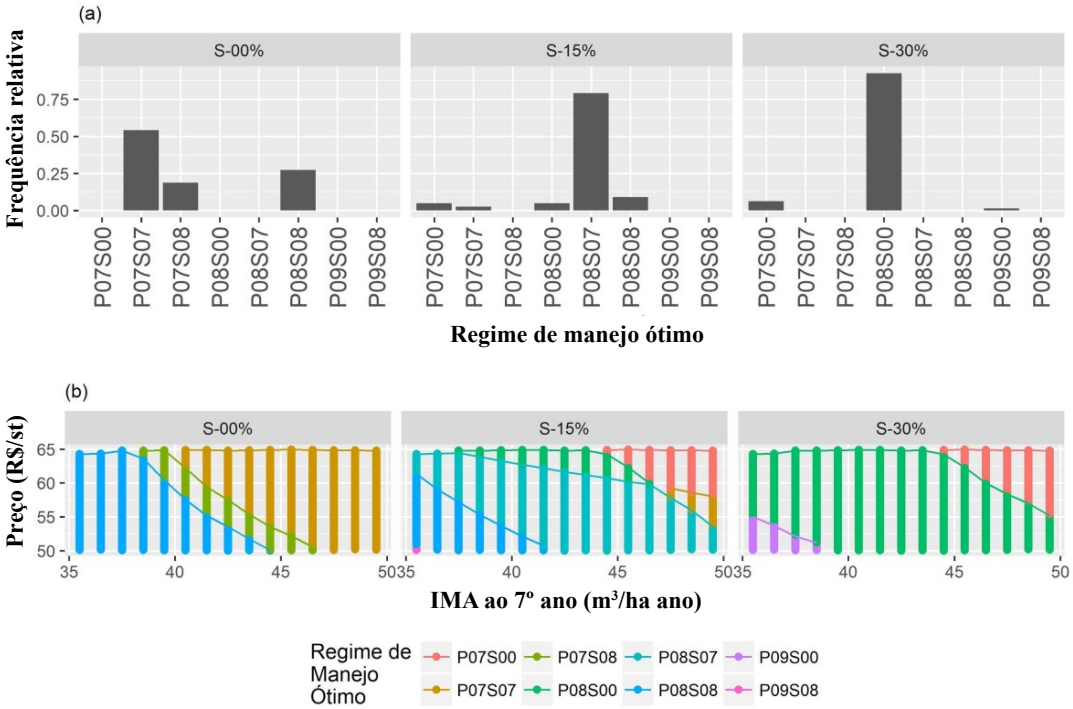


Figura 7. Frequência e região de ocorrência do regime de manejo ótimo
Fonte: Adaptado de Josino et al. (2020).

O regime de manejo modal, com ciclo de duas rotações de sete anos cada (P07S07) sem perda de produtividade na segunda rotação (S-00%), é o regime de máximo retorno econômico em mais de 50% das simulações (Figura 7a), ocorrendo em situações de receita elevada (elevado preço e/ou produtividade). À medida que a receita se reduz, seja pela redução do preço ou da produtividade, o regime modal deixa de ser o de retorno econômico máximo, sendo este obtido pelo produtor com o adiamento inicialmente do segundo corte (P07S08) em um ano, e posteriormente o adiamento do primeiro corte também (P08S08). Com 15% de perda de produtividade no segundo corte (S-15%), há uma maior possibilidade de alterações no regime de manejo para obter o máximo retorno da floresta, sendo que, em situações de receita muito alta, com elevados preços, a segunda rotação não é mais adotada (P07S00, P08S00), sendo adiada a idade de corte para situações de preço muito alto e produtividades medianas. No outro extremo, onde ocorre a perda de produtividade de 30% na segunda rotação (S-30%), esta é completamente abandonada caso o produtor deseje adotar o regime de manejo que maximiza o retorno econômico de sua floresta. Segundo Josino et al. (2020), à medida que a expectativa de receita se reduz, o produtor adota

uma estratégia de maximização de retorno econômico ao adiar a idade de corte e prolongar o ciclo de produção, bem como não executar a segunda rotação caso a expectativa de perda de produtividade ultrapasse 15% em algumas condições. Os ganhos equivalentes anuais que podem ser obtidos pelo produtor, ao adotar o regime ótimo, variaram de zero (quando o modal já é o ótimo) até R$ 171,70/ha, na condição em que o modal mais se afastou do regime ótimo (S-30%).

As condições de produção e mercado encontrados no polo de produção de Santa Cruz do Sul são particularmente interessantes devido ao elevado número de produtores e compradores de lenha envolvidos na cadeia produtiva, não sendo comum esta característica no mercado florestal. O sistema de produção com baixo nível tecnológico possibilita a obtenção de boas produtividades devido às condições de solo e clima locais, os custos silviculturais são mínimos, mas os demais custos envolvidos no processo são elevados. Entretanto, como muitas operações são realizadas com fatores de produção que pertencem ao produtor, possibilita a alocação dos mesmos na produção florestal em um momento onde estão ociosos (baixo custo de oportunidade), contribuindo para o uso mais racional destes fatores e com o aumento da sua renda no final do processo. Entretanto, caso o produtor queira aumentar a sua escala de produção, este sistema de produção necessitaria ser revisto, pois seria necessário contratar mão de obra externa e buscar clientes em um raio de transporte maior, pois o mercado mais próximo já estaria sendo atendido, aumentando os custos de mão de obra e transporte no sistema de produção, bem como a parcela dos custos de produção resultantes da remuneração de fatores de produção que não pertencem ao produtor, reduzindo a renda total[3] auferida pelo mesmo. O caso de Santa Cruz do Sul foi o melhor exemplo que o pequeno produtor florestal pode ter um negócio extremamente viável, desde que considere as características do mercado em que está inserido e adeque a sua escala de produção.

O polo produtivo de Carvão Vegetal em Minas Gerais

A pesquisa foi realizada em 2015, na região central de Minas Gerais, abrangendo os municípios de Vazante, Três Marias, Buenópolis, Bocaiúva, Itacambira e Carbonita. Esta região foi escolhida por representar o maior polo produtor de eucalipto para transformação de carvão vegetal usado como termorredutor nas usinas de siderurgia (Figura 8). Segundo dados do IBGE (2019), o estado de Minas Gerais responde por mais de 80% da produção de carvão vegetal de origem silvicultural no Brasil.

[3] Renda advinda do lucro do sistema de produção mais a renda resultante da remuneração dos fatores de produção próprios (terra, capital e trabalho), semelhante ao conceito de Renda da Família destacado em Guiducci et al. (2012).

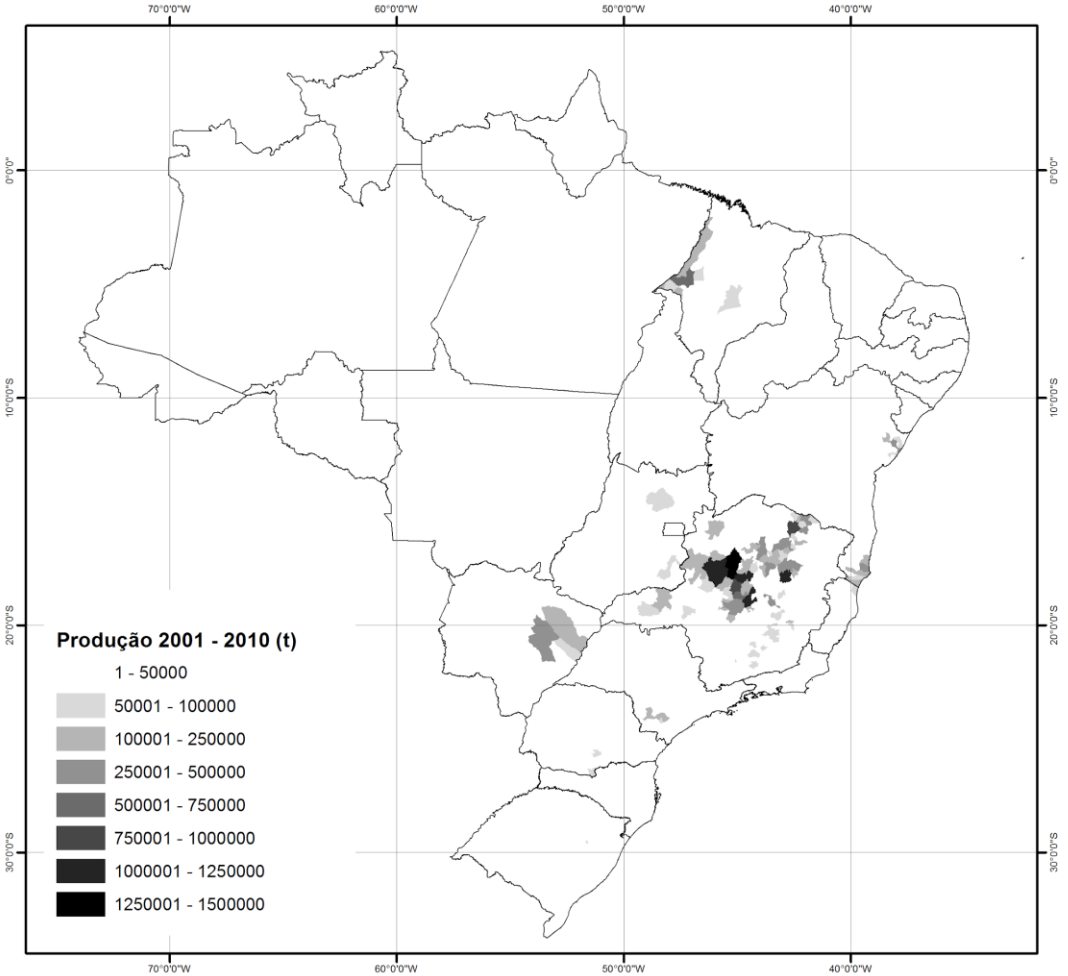


Figura 8. Distribuição espacial da produção de carvão vegetal no Brasil (2001-2010).
Fonte: Elaboração própria utilizando dados do IBGE (2019).

A cadeia produtiva do carvão vegetal na região central de Minas Gerais, cuja produção é integrada à siderurgia, é de grande escala e tecnologicamente bem desenvolvida. A Figura 9 representa esquematicamente a cadeia, com representação no diagrama desde o elo fornecedor de insumos até a produção final de componentes de aço.

O material genético para os plantios florestais é desenvolvido pelas empresas, buscando maior densidade da madeira e resistência à deficiência hídrica. Este processo visa atender o bom desempenho silvicultural no campo (produtividade e resistência

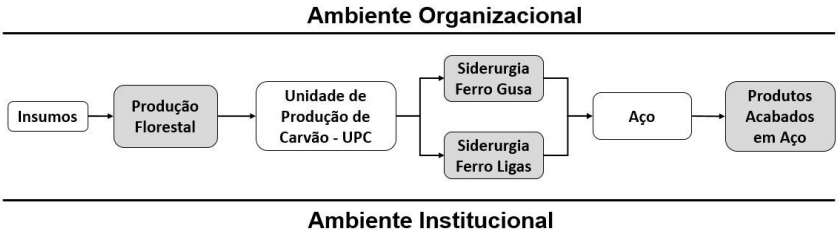


Figura 9. Modelo da cadeia produtiva do carvão vegetal da indústria siderúrgica integrada em Minas Gerais.

a pragas) e, consequentemente, do carvão vegetal produzido ao final da cadeia. As principais espécies são *Eucalyptus grandis, E. camaldulensis* e *E. urophylla*. Contudo, outras espécies estão sendo introduzidas e acompanhadas, objetivando averiguar o seu desempenho produtivo, tais como *E. pellita, Corymbia torelliana, C. citriodora* spp. *citriodora* e *C. citriodora* spp. *variegata*.

A densidade do material genético utilizado pelas empresas varia de 510 kg m^{-3} a 585 kg m^{-3}, buscando por meio do melhoramento uma densidade acima de 600 kg m^{-3}. As empresas utilizam ampla gama de diferentes materiais nos programas de melhoramento genético, evidenciando a importância da pesquisa para o setor, com o objetivo de buscar materiais com maior desempenho silvicultural e para a produção de carvão. A partir do material genético desenvolvido pelas empresas, a produção de mudas é realizada por viveiros terceirizados, os quais produzem as mudas clonais.

As empresas entrevistadas adotam quatro diferentes estratégias para a obtenção de madeira: o fomento florestal; o produtor florestal; e a produção própria, além da eventual aquisição no mercado *spot*.

O fomento florestal é adotado por algumas empresas e caracteriza-se pelo fornecimento de todos os insumos (mudas, adubo, formicida, etc.) e assistência técnica aos produtores rurais familiares para a produção da lenha ou carvão vegetal. As empresas compram a lenha ou o carvão e cobram os insumos, caso o agricultor deseje vender para outros compradores. O fomento florestal é considerado muito importante sob o ponto de vista social, podendo incluir no mercado de produtos florestais centenas de famílias, possibilitando-lhes acesso ao trabalho e renda.

Quanto à modalidade "produtor florestal", refere-se à parceria firmada entre a empresa e os agricultores de maior porte, sendo considerado mais atrativo quando a área é superior a 50 hectares. Nesta, geralmente ocorre o financiamento dos plantios florestais pelos bancos comerciais e as empresas asseguram os contratos de financiamento. Assim, os bancos possuem a garantia de uma seguradora com comprometimento e grande valor no mercado, os produtores recebem investimentos facilitados e possuem segurança quanto à comercialização e a empresa tem a garantia de

recebimento de matéria-prima de qualidade. Este procedimento gera um contrato entre a empresa e o produtor, que se responsabiliza em vender as duas primeiras colheitas para a empresa (descontando os custos de implantação), permanecendo a preferência de compra das colheitas posteriores. Neste caso, as empresas também oferecem assistência técnica, mudas e insumos. Devido ao alto custo de deslocamento dos equipamentos de colheita, este programa opta por concentrar os contratos de parceria com os produtores em regiões específicas, para assim facilitar a entrega da madeira e, posteriormente, do carvão. As técnicas de silvicultura assemelham-se àquelas utilizadas pelas empresas, com uso de mudas clonais. Esta estratégia visa ampliar a capacidade de produção de madeira sem a necessidade de aquisição de novas áreas de terra, sobretudo para o atendimento de picos de demanda de madeira. Contudo, ainda representa um baixo percentual do total de madeira produzida.

A produção própria é a principal estratégia e representa de 50% a 97% do fornecimento de madeira para produção do carvão vegetal. A preferência pela estratégia da produção própria se deve, sobretudo, à garantia do suprimento de matéria-prima, dada à alta imprevisibilidade no mercado de ferro e aço (alta sazonalidade da demanda, com reflexos do mercado internacional), tempo de produção da floresta (requer planejamento antecipado) e ao protocolo do Ministério do Meio Ambiente, onde preconiza que toda a produção de carvão vegetal para a siderurgia deve ter garantia de origem de madeira legal.

As técnicas silviculturais são relativamente homogêneas entre as empresas entrevistadas. Tomando-se como base um sistema de produção mais representativo dos entrevistados, a densidade de plantio é realizada, preferencialmente, com 9 m^2 por planta, no espaçamento de 3 m x 3 m, mas sendo relatados espaçamentos de 3,3 m x 2,73 m. A adubação de base é feita por ocasião do plantio, com 350 kg ha^{-1} a 500 kg ha^{-1} de NPK (10-27-10), geralmente com acréscimo de micronutrientes. A adubação de cobertura é realizada em duas aplicações, prevalecendo a dosagem de 250 kg ha^{-1} nas duas aplicações, dependendo da época de plantio e do período de chuvas, podendo ser menor conforme o desenvolvimento inicial. A adubação foliar é realizada também em duas aplicações até o terceiro ano, com aplicação de boro. Os custos nominais de 2015 foram: Custo Operacional de implantação variando de 3.000,00 R$ ha^{-1} a 4.000,00 R$ ha^{-1} e a manutenção até o corte final (7º ano) varia de 1.000,00 R$ ha^{-1} a 2.000,00 R$ ha^{-1}. A produtividade média anual nesse sistema é 38 m^3 ha^{-1}. O custo de colheita e transporte até a Unidade de Produção de Carvão (UPC) varia de 20,00 R$ m^{-3} a 35,00 R$ m^{-3}, dependendo da distância de transporte (entre 15 km e 20 km).

O procedimento e equipamentos utilizados na colheita são, na sua maioria, Feller Buncher para o corte, cujo rendimento varia de acordo com o espaçamento das árvores e tempo de uso do equipamento, ficando em torno de 250 - 550 árvores por hora. Estas são deixadas em blocos maciços no local de derrubada, por um período médio

de 35 dias. Este período é suficiente para que haja secagem das folhas, facilitando sua queda (desprendimento), seja por via do equipamento ou do próprio arraste. Posteriormente, com o auxílio do *Skidder*, as árvores são arrastadas até a borda do talhão para o seccionamento com uma garra traçadora. A dimensão do seccionamento varia entre as empresas, entre 3 m e 6 m de comprimento, dependendo das características de construção dos fornos para a produção de carvão. Após o seccionamento, as toras ficam à beira do talhão até atingir a umidade ideal para a produção do carvão. Este tempo pode variar de 110 a 180 dias, dependendo das características iniciais da madeira e das condições climáticas que influenciam diretamente o processo.

Na maior parte, as empresas conduzem uma rebrota, com 1 a 2 brotos por cepa, realizando avaliação qualitativa para a seleção dos brotos, tendo queda de 10% na produtividade da segunda rotação.

Para a produção do carvão, as empresas possuem fornos de diferentes comprimentos, com capacidade média variando de 160 mdc forno^{-1} a 210 mdc forno^{-1} e ciclo de produção variando de 11 a 17 dias, sendo 1 dia para carga e descarga, 4-6 dias para carbonização e de 8-11 dias para resfriamento. Algumas características do carvão produzido são: teor de umidade (5% a 10%); carbono fixo (70% a 85%); teor de cinzas (<2,0%), teor de voláteis (20% a 24%) e teor de tiço (5% a 12%). O rendimento varia de 0,70 mdc m^{-3} lenha a 0,85 mdc m^{-3} lenha.

A cadeia produtiva do eucalipto para energia em Minas Gerais possibilitou a análise da estratégia de produção florestal em larga escala e com um forte direcionamento para a redução do custo médio de produção do carvão vegetal. A busca pelo custo mínimo se refletia na escolha das operações e nas suas inter-relações, em termos de eficiência. Dois exemplos que destacaram esta preocupação foram: a) teste de vários espaçamentos de plantio considerando não apenas o seu impacto na produtividade, mas no rendimento das operações de subsolagem (plantio) e colheita; e b) o estabelecimento de duas unidades produtoras de carvão vegetal em uma mesma fazenda, visando reduzir o raio médio de transporte da lenha para as UPCs.

Os polos produtivos de Rio Verde e Cristalina em Goiás

Em Goiás, dois polos produtivos foram estudados em 2018: Rio Verde e Cristalina. Em ambos os polos, a cadeia de produção de eucalipto destina-se, fundamentalmente, a fornecer madeira nas formas de lenha e cavaco, para uso energético na secagem e processamento de grãos e à indústria alimentícia. Uma parcela muito pequena da produção é destinada às indústrias de tratamento de madeira, para fabricação de postes, mourões, palanques de cercas, e a produção de madeira para serraria é praticamente inexistente, embora alguns produtores, em ambos os polos, estejam deixando algumas árvores para este fim. No polo de Rio Verde já se observa a colheita de toras de eucalipto de maior diâmetro, mas ainda de forma experimental e sem o

desdobro da madeira executado e/ou avaliado. A representação esquemática da cadeia é apresentada na Figura 10.

Fotos: Flávio José Simioni

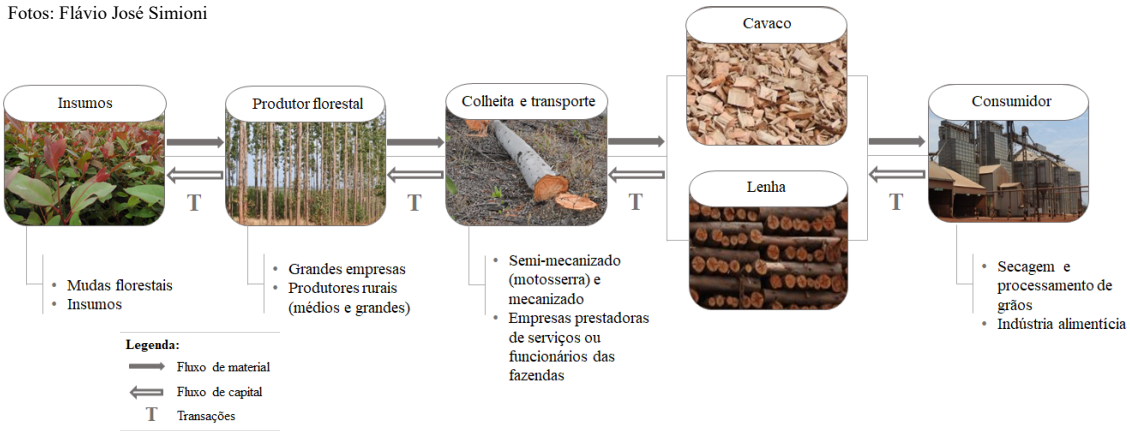


Figura 10. Esquema ilustrativo da cadeia produtiva do eucalipto nos polos de Rio Verde Cristalina, GO.

No polo de Rio Verde, a produção florestal é realizada por produtores agropecuaristas que utilizam o plantio de eucalipto como barreira sanitária, por produtores rurais para complemento da renda familiar (uso de terras marginais) e por grandes produtores, sejam individuais ou em cooperativas, que geralmente utilizam terras de menor produtividade de grãos (terras arenosas). O nível tecnológico utilizado pelos médios e grandes produtores foi considerado elevado, com alta tecnologia e investimentos em preparo do solo, adubação e controle de pragas e doenças que possibilitam uma alta produtividade das florestas. Contratavam assistência técnica silvicultural para o plantio e tratos culturais, seja própria ou de empresas terceirizadas, assim como empresas especializadas na colheita florestal, normalmente mecanizada, para realização da atividade. Não foram identificados equipes ou esforços de planejamento florestal, semelhantes aos utilizados pelas empresas florestais de médio e grande porte. Os pequenos produtores geralmente utilizavam a recomendação técnica obtida no viveiro de onde adquiriam as mudas, ou contratavam assessoria não especializada, sendo reportadas algumas ações oportunistas por parte de profissionais que atuavam na área agrícola ou ambiental, mas não possuíam experiência técnica com o manejo de florestas de eucalipto. O mercado consumidor era amplo e majoritariamente para madeira com finalidades energéticas, sendo na forma de lenha de metrinho ou de cavaco. Embora a floresta produzida fosse a mesma, os custos de colheita e processamento do produto eram diferentes, influenciando a escala de produção e a janela

de tempo de execução das operações. O mercado ao qual os produtos se destinavam também possuía características distintas.

A lenha de metrinho era destinada principalmente às secadoras de grãos e às granjas suínas ou avícolas. Tais consumidores apresentavam a estratégia de manter estoques de lenha suficiente para operar durante um ano ou um pouco mais, de modo que esperavam o momento de menor preço a cada ano, para negociar a compra da lenha que serviria ao próximo ano agrícola. Ao mesmo tempo que o ativo florestal era específico, uma vez que todos utilizavam lenha, havia uma elevada flexibilidade de negociação dos compradores devido ao estoque adquirido anteriormente, configurando-se um mercado mais disperso e com menor escala de consumo (500 st a 1.000 st/safra por unidade consumidora), quando comparado com as indústrias processadoras de grãos. A remuneração normalmente era paga por volume (metro estéreo) e não havia diferenciação de acordo com a qualidade da lenha (aplicação de bônus ou desconto de acordo com o teor de umidade ou densidade da lenha fornecida). Acabavam sendo atendidos por produtores com uma escala de produção menor, que utilizavam colheita semi-mecanizada e caminhões "toco" para transporte, com colheita sem a realização de baldeio. Produtores de médio porte que visavam este mercado acabavam tendo um custo de transação maior devido ao maior número de negociações que necessitavam realizar para comercializar a sua produção.

O cavaco apresentava um maior custo de produção, devido ao elevado custo do processo de picagem e consumo de combustível, mas o seu mercado contava com produtores e consumidores em maior escala. Os consumidores não acumulavam elevados estoques do produto, necessitando de uma oferta regular do mesmo ao longo do ano, possibilitando contratos com maior prazo e uma relação comercial mais duradoura. Os produtores que ofertavam o cavaco necessitavam ter uma área de colheita superior a 40 hectares, sendo o tamanho mínimo relatado para viabilizar a colheita mecanizada e a picagem do cavaco no campo pelas empresas terceirizadas. A unidade de comercialização do cavaco era o peso e havia uma umidade máxima a ser respeitada nos contratos de compra, sendo imposta uma penalidade caso a mesma fosse ultrapassada. A quantidade adquirida pelos consumidores de cavaco para o processamento dos grãos ou uso na indústria alimentícia era muito superior às quantidades demandadas pelas secadoras, naturalmente incentivando a comercialização com as empresas terceirizadas de colheita mecanizada e processamento, com grandes produtores, ou produtores cooperados.

No geral, o segmento da cadeia produtiva de lenha destinava-se a produtores e consumidores com menor escala, sendo o cavaco a opção dos agentes com maior escala de produção. A tendência geral observada ao consumo de madeira para energia na região era a migração para caldeiras alimentadas por cavacos. O uso do cavaco tem apresentado algumas vantagens em relação à lenha, principalmente relacionadas à automação do processo com menor uso de mão de obra e com menores riscos (devido

às condições do trabalho e à presença de animais peçonhentos) e, sobretudo, à maior eficiência energética, podendo chegar a 30%.

Como destacado no diagnóstico da cadeia produtiva, o sistema de produção modal de eucalipto delineado em Rio Verde utiliza alta tecnologia (mudas clonais, preparo do solo e tratos silviculturais mecanizados e adubação compatível com alta produtividade) em solos planos e arenosos, sendo os solos com maior teor de argila deixados para a produção agrícola. A escala considerada foi um talhão homogêneo de 50 hectares, com densidade de plantio de 1.350 plantas por hectare de mudas clonais de *Eucaliptus urophylla* (clone AEC 144), ciclo de produção com duas rotações de seis anos cada, com produtividade esperada de 310 m³/ha na primeira rotação e 262 m³/ha na segunda rotação (Moreira et al., 2019). O preparo do solo era mecanizado, com adubação de base e três adubações de cobertura em cada rotação, sendo a quantidade determinada com base na análise de solo. O mesmo sistema de produção foi avaliado economicamente com dois sistemas de colheita, semi-mecanizado produzindo lenha de metrinho, e mecanizado com picagem no campo produzindo cavaco. Os consumidores da lenha de metrinho estavam exigindo diâmetros mínimos maiores, de forma que este cenário foi incorporado na análise para verificar o seu impacto na rentabilidade da atividade. A distância de transporte modal considerada foi 50 km para o consumidor e a forma de comercialização considerada foi aquela entregue no cliente. Quatro distâncias de transporte foram consideradas na análise para os dois sistemas de produção, e três diâmetros mínimos requeridos pelos clientes, para a lenha de metrinho.

A apropriação da receita bruta obtida na produção de metrinho pelos custos de produção do processo, bem como o impacto que a exigência de elevação do diâmetro mínimo de comercialização tem no Valor Presente Líquido do sistema de produção, podem ser observados na Figura 11.

Ao preço de R$ 75,00/st entregue no cliente, o modal de produção de lenha de metrinho foi viável nos três cenários de diâmetro mínimo da lenha avaliados, mas a exigência de aumento do diâmetro mínimo de 6 cm para 10 cm ocasionou uma perda de rentabilidade de 55%, pelo valor do VPL. Ao elevar a exigência do diâmetro mínimo das peças de lenha, uma parte maior da ponteira da árvore não atende a exigência, resultado em uma maior proporção de resíduo e reduzindo o volume comercial da floresta na idade de colheita. O menor volume comercial reduz a receita bruta e os custos que variam com a produção (transporte, colheita e processamento, impostos sobre a produção, imposto de renda, juros sobre capital próprio), mas não alteram os custos que independem da produção (custos silviculturais e de oportunidade da terra). O impacto do custo de transporte e do preço pago pelo cliente na rentabilidade do sistema de produção pode ser observado na Figura 12.

A sensibilidade da rentabilidade da produção de lenha de metrinho em relação ao preço pago pelo cliente e, principalmente, à distância de transporte, é destacada na Figura 12a. O aumento do custo médio de produção (CMP), que é o preço mínimo a

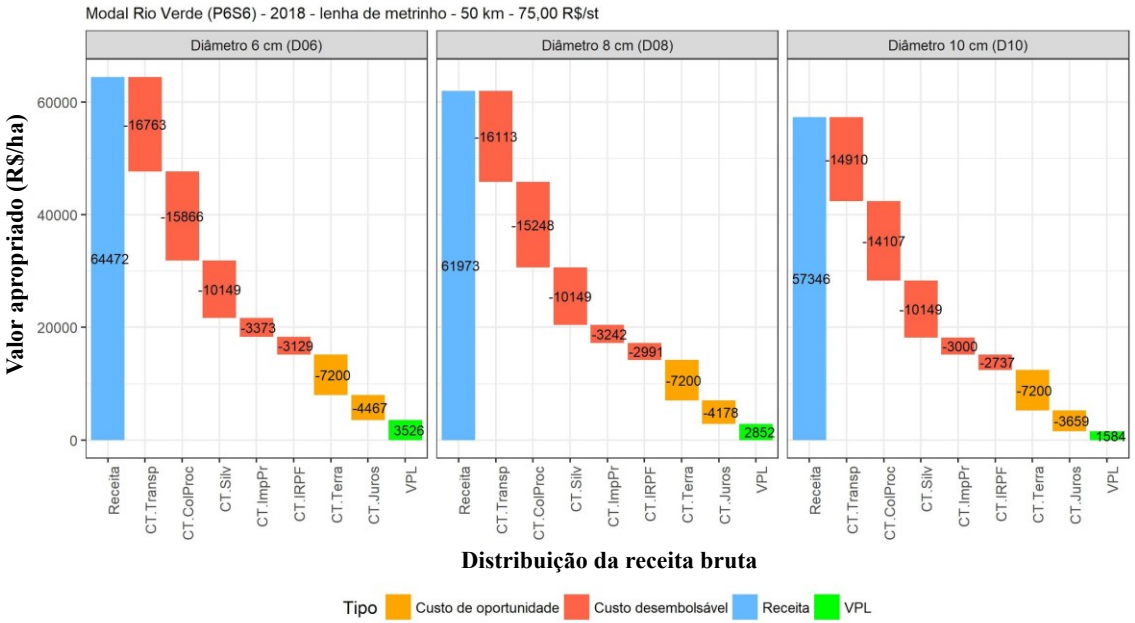


Figura 11. Apropriação da receita bruta na produção de lenha de metrinho.
Fonte: Moreira et al. (2019).

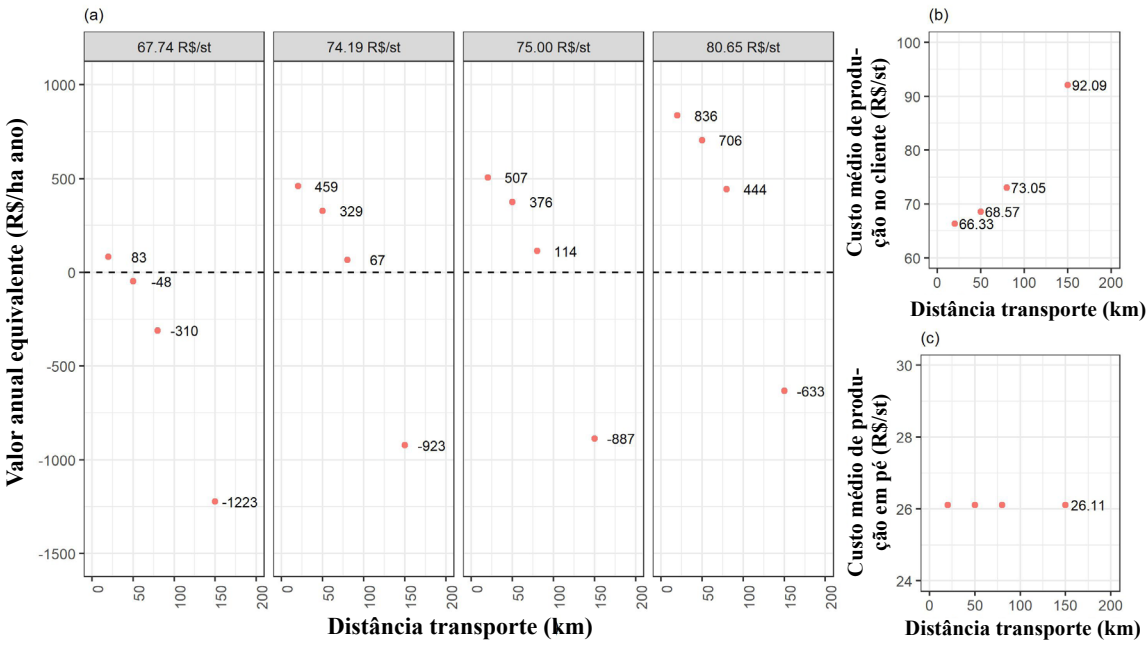


Figura 12. Impacto do preço e da distância de transporte na rentabilidade da produção de lenha de metrinho em Rio Verde, GO.
Fonte: Moreira et al. (2019).

operações de colheita e transporte), os impostos pagos sobre a produção (maior valor de venda) e o imposto de renda (base maior de cálculo para renda auferida) também são considerados na análise, para o cálculo do CMP na Figura 12b.

A apropriação da receita bruta nos diferentes cenários de preço pagos pelo metro de cavaco pode ser observada na Figura 13, e o impacto da distância de transporte na rentabilidade e no custo médio de produção na Figura 14. Os cenários de preço apresentados nas Figuras 11 e 13 são equivalentes quando considerados os fatores de conversão utilizados.

Os custos silviculturais e de oportunidade da terra são os mesmos para os dois produtos (Figuras 11 e 13), mas, ao comparar preços equivalentes (R$ 42,27/mcav e R$ 75/st) a rentabilidade do cavaco é inferior àquela obtida pela lenha de metrinho na distância de 50 km, embora a receita bruta do cavaco seja um pouco superior (maior volume comercial) e os custos de colheita mecanizada, inferiores, o processamento (picagem) do cavaco é bastante oneroso, aumentando os custos de produção e reduzindo a rentabilidade. Os custos totais de colheita da lenha de metrinho foram reduzidos pela não realização da operação de baldeio, carregando-se o caminhão diretamente no talhão (Moreira et al., 2019), sendo esta uma estratégia adotada pelos

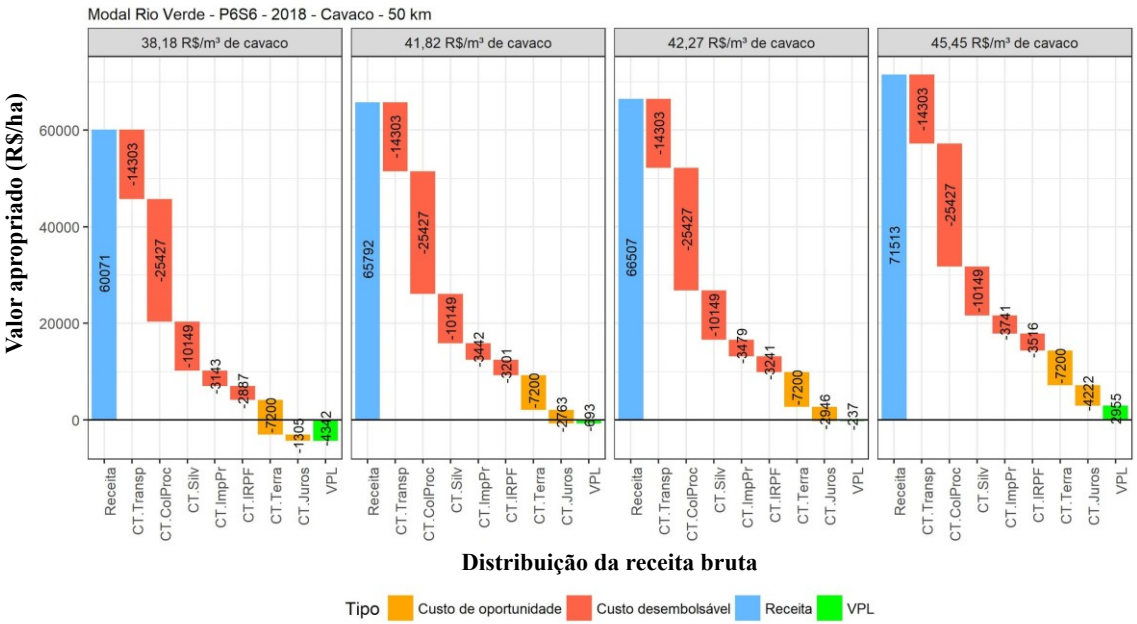


Figura 13. Apropriação da receita bruta no sistema de produção de cavaco em diferentes cenários de preços pagos pelo cliente.

Fonte: Moreira et al. (2019).

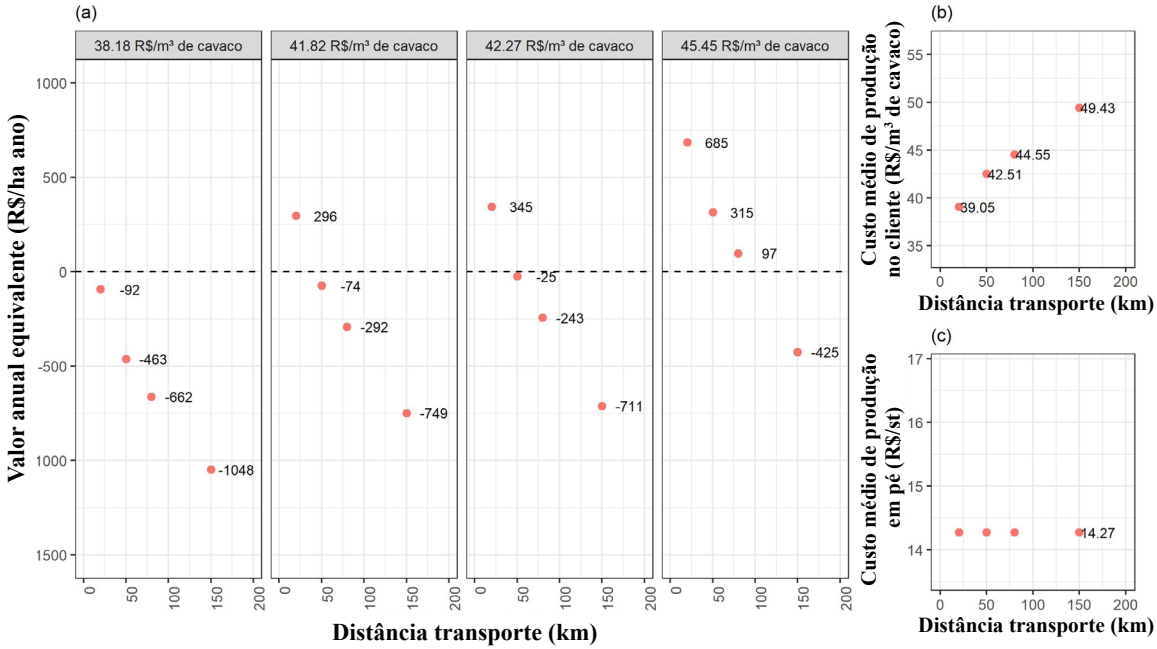


Figura 14. Impacto do preço e da distância de transporte na rentabilidade da produção de cavaco em Rio Verde, GO.

Fonte: Moreira et al. (2019).

produtores para melhorar a rentabilidade da atividade. Entretanto, isto acarreta o uso de caminhões com menores capacidades de transporte, tornando a rentabilidade mais sensível ao aumento da distância de transporte, quando comparado com o sistema de produção de cavaco que utiliza caminhões com maior capacidade de carga, carregamento direto no picador e descarregamento automático por piso móvel, conforme pode ser observado ao se comparar as Figuras 12 e 14a e 14b.

O polo de produção de eucalipto em Cristalina apresenta características distintas daquelas observadas em Rio Verde. Um número maior de produtores de eucalipto com áreas menores, tecnificadas na implantação e na adubação, mas com colheita majoritariamente semi-mecanizada e uma maior variedade de materiais genéticos e espaçamentos de plantio utilizados. As áreas destinadas à produção de florestas são solos mais arenosos e com a presença de cascalho. Havia apenas uma grande empresa produtora no polo de produção (acima de dez mil hectares plantados) que utilizava colheita mecanizada, mas estava reduzindo a sua área plantada pela metade e focando na produção e transporte de cavaco. Vários pequenos e médios produtores também estavam desestimulados ao cultivo, sendo observadas várias áreas com destoca (mudança de uso do solo), áreas com brotação sem manejo e tratos silviculturais,

e apenas uma área submetida à reforma ou renovação de plantio. Os produtores se queixavam dos preços recebidos, que apresentavam queda ou se mantinham nominalmente estáveis há pelo menos quatro anos, e das desvantagens na comercialização do produto, dependendo de atravessadores para a comercialização da sua produção. Visando melhorar esta condição, os produtores criaram uma cooperativa florestal que passou a coordenar a comercialização, tendo em sua equipe um responsável pela parte comercial e um contador para assessoria contábil aos cooperados. A cooperativa já contava com quase cinco mil hectares de florestas representados e dispunha de um picador e caminhões de transporte de cavaco para a prestação de serviço aos cooperados, e visava a contratação de assistência técnica de inventário e mensuração florestal nos seus planos futuros. A colheita nas áreas plantadas dos pequenos e médios produtores era realizada com motosserra, sendo traçada a madeira e baldeada até a borda do talhão quando produzindo lenha de metrinho, ou baldeada com mini-skidder até a borda do talhão para secagem e posterior picagem para produção de cavaco. Alguns produtores estavam desbastando suas florestas, buscando manejá-las para a produção de toras de maior diâmetro para serraria, visando agregar valor à sua produção, mas poucos produtores estavam considerando a possibilidade de renovação ou condução das suas florestas, devido à baixa perspectiva de rentabilidade, dados os preços não atrativos decorrentes do excesso de oferta, no momento. Também foram observados relatos de um raio de comercialização superior ao obtido em Rio Verde, o que aumentava o custo de transporte e reduzia a rentabilidade da cultura. A Coordenação de Comercialização da Cooperativa estava contribuindo para a redução desta distância, por organizar o atendimento da demanda a produtores que estivessem mais próximos, contribuindo para uma maior eficiência e redução dos custos de transação, resultando em um aumento de competitividade na cadeia.

No geral, a cadeia do eucalipto nas duas regiões possui todos os elos em operação e tem condições de ser competitiva, contudo tem enfrentado altas oscilações de preços decorrente do excesso de oferta no momento da pesquisa, com consequências negativas para a continuidade da atividade, por parte dos produtores menores e não inseridos, de alguma forma, no mercado consumidor. Além disso, o polo de Cristalina tem enfrentado maiores desafios devido à escala de operação dos produtores e uma maior carência de experiência florestal na implantação dos primeiros ciclos de produção, mas vem reagindo com a organização da Cooperativa e a experiência acumulada ao longo dos primeiros ciclos, tendo condição de melhorar a sua competitividade e sustentabilidade no médio prazo.

Considerações finais e recomendações

Ponto comum entre os polos

O que pode ser observado de comum nos diferentes polos de produção analisados foi um aumento da área plantada de eucalipto, resultante de diferentes percepções de incentivo. Grandes produtores e consumidores florestais em regiões com silvicultura já estabelecida aumentaram suas bases para atender planos de expansão da demanda de seus produtos; consumidores florestais em regiões com baixa oferta estabeleceram seus plantios como estratégia de garantia de abastecimento e para minimizar o impacto das oscilações de preços dos insumos. Pequenos e médios produtores, sem experiência na atividade, vislumbraram uma oportunidade de negócio de elevado retorno financeiro e decidiram entrar na atividade, mas muitos deles o fizeram em um momento de excesso de demanda (preço elevado) sem conhecimento do negócio e sem o apoio de assistência técnica especializada. Aqueles que contrataram assistência técnica o fizeram pensando na atividade de plantio e garantia de boa produtividade, mas raros foram os casos de assessoria de planejamento do negócio, sendo que a mesma é fundamental para uma maior possibilidade de sucesso na atividade.

Conhecimento de mercado

Conhecer o mercado consumidor e o clima da região é fundamental para obter uma produção florestal viável, pois, a partir daí se escolherá o material genético a ser utilizado (que tenha boa adaptação aos solos e clima da região e resulte em um produto adequado às especificações do cliente). Em seguida, deve-se conhecer todas as etapas do sistema produtivo, desde o preparo do solo até a colheita e transporte ao cliente, visto que estas duas etapas são normalmente as que representam maior custo na atividade florestal, podendo ultrapassar o valor da madeira em pé, principalmente produtos de menor valor agregado como a madeira para energia e celulose (Scheffler, 2017). Com este planejamento realizado, o produtor tem condições de se inserir no mercado florestal de maneira mais sustentável e competitiva, obtendo bons retornos em momentos de bons preços e minimizando os impactos nos períodos de excesso de oferta e preços baixos.

Conhecer o mercado e os seus potenciais consumidores dá ao produtor a condição de avaliar se a escala de produção pretendida lhe permite acessar o mercado de forma competitiva. Um produtor de madeira para lenha com baixa escala de produção, provavelmente realizará a colheita semi-mecanizada e não terá escala suficiente para compensar o deslocamento de um conjunto de picador móvel até a sua propriedade. Já um produtor com uma escala um pouco maior, que vislumbre o mercado de

escoras para construção civil ou indústrias de preservação de madeira, pode facilmente ver o seu mercado saturado, devido à menor demanda destes produtos, mas são mercados que normalmente exigem produtos com maior especificidade e pagam valores maiores, viabilizando sistemas de produção em pequena escala que estejam relativamente próximos. Cada cliente pode ter especificações distintas, por exemplo, clientes de madeira para energia podem consumir lenha de metrinho[4], metrão[5], ou mesmo utilizar picadores fixos em seus complexos industriais, consumindo toras de maior comprimento[6], para aumentar a produtividade e eficiência do seu picador. O produtor florestal que realiza a sua colheita produzindo lenha de metrinho, além de ter aumentado o seu custo de colheita com o maior traçamento, terá eliminado os clientes que consomem os outros tamanhos de toras das suas possibilidades de comercialização, sendo que esta eliminação ocorreu no momento da decisão do traçamento da árvore após o corte. Até a derrubada todos os clientes poderiam ser atendidos pelo produtor.

Planejamento da produção florestal

Mesmo em momentos de crise da economia em geral, com consequente queda dos preços da madeira para energia, os produtores que estão na atividade, porém, realizando-a de forma planejada, conseguem obter retornos compatíveis e pensam em se manter no ramo. Por outro lado, o mesmo não ocorre com aqueles que entraram na atividade florestal sem planejamento, principalmente quanto às distâncias e inserção ao mercado consumidor.

É altamente recomendável considerar os custos de colheita e transporte, bem como o acesso aos mercados no momento de se iniciar os plantios e entrar na atividade florestal. De nada adiante ter um plantio com alta produtividade, mas se essa receita é consumida no transporte ou, ainda, o produtor não consegue comercializar a sua produção.

É fundamental que os produtores observem as lições apreendidas nesta última década, e utilizem este conhecimento para planejar a sua entrada no mercado florestal, de uma forma mais ponderada, adequando-se às características do negócio florestal e contribuindo para o estabelecimento de uma cadeia produtiva florestal sustentável e competitiva com a participação de pequenos e médios produtores.

---

[4] Lenha em toras de 0,9 m até 1,1 m de comprimento.

[5] Lenha em toras de 1,9 m até 2,1 m de comprimento.

[6] Caso observado em uma cooperativa consumidora de eucalipto para energia em Rio Verde, onde eram consumidas toras de seis metros de comprimento no picador.

Cooperativismo

O estabelecimento de cooperativas, a exemplo do que foi observado em Cristalina-GO, pode reduzir os custos de transação para os produtores independentes e melhorar a eficiência na busca de clientes e na distância de transporte. A possibilidade da troca de experiências entre os produtores, fomentada pela cooperativa, e a redução de custos na contratação de serviços de assessoria mais especializados, principalmente nas áreas de inventário, planejamento florestal e estudos de mercado, podem contribuir para aumentar o conhecimento dos produtores florestais independentes do negócio, aumentando a competitividade da cadeia produtiva e a sustentabilidade da produção florestal na região. A não consideração destes aspectos levou alguns produtores a estabelecer florestas distantes do mercado consumidor ou sem infraestrutura de estradas capaz de comportar caminhões com maior capacidade de carga (elevado custo de transporte), em escalas incompatíveis com os sistemas de colheita de menor custo, sem os devidos cuidados com o manejo silvicultural (baixa produtividade), com material genético ou dimensionamento de toras inadequados às especificações requeridas pelos seus clientes, ou em áreas de custo de oportunidade muito elevado (terras aptas para o cultivo de grãos). A combinação de um ou mais destes fatores reduz a competitividade dos cultivos florestais, especialmente em momentos de baixa de preços, fazendo com que muitos produtores colham suas florestas e realizem a destoca das áreas, saindo da atividade florestal. Esta situação projeta uma redução da oferta futura que, dependendo da demanda, pode ocasionar um novo ciclo de elevação de preços, fazendo com que a história se repita e resultando em incertezas na cadeia produtiva, tanto para produtores como para consumidores.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas embrapianos Jonas Irineu dos Santos Filho e Edilson Batista de Oliveira pelas contribuições na leitura e sugestões ao manuscrito. Agradecem também aos produtores, especialistas e agentes das cadeias produtivas consultadas, pelo compartilhamento das informações e participação nos painéis de custo de produção, em cada polo estudado. À Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" (Unesp) - Campus de Itapeva, à Associação dos Fumicultores do Brasil (Afubra) - Santa Cruz do Sul, à Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (Comigo) - Rio Verde, e à Cooperativa Florestal Brasil Central (Arbo) pela cessão da estrutura para o levantamento dos painéis de custo, nas suas respectivas regiões. Agradecemos, ainda, ao Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Goiás (Sebrae-GO) pela parceria especial, apoio logístico, financiamento conjunto das atividades de pesquisa e discussões técnicas realizadas nos polos de produção do Goiás.

Referências

BELEI, R. A.; GIMENIZ-PASCHOAL, S. R.; NASCIMENTO, E. N.; MATSUMOTO, P. H. V. R. O uso de entrevista, observação e videogravação em pesquisa qualitativa. **Cadernos de Educação**, v. 30, p. 187-199, 2008.

CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; CRISTO, C. M. P. N. Cadeia produtiva: marco conceitual para apoiar a prospecção tecnológica. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DE TECNOLOGIA, 22., 2002, Salvador. **Anais** [...]. São Paulo: FEA/USP, 2002.

CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil**: competitividade das cadeias produtivas de materias-primas. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010. 712 p.

DAVIS, J. H.; GOLDBERG. R. A. **A concept of agribusiness**. Boston: Harvard University, 1957.

DE ZEN, S.; PERES, F. C. Painel agrícola como instrumento de comunicação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 40., 2002, Passo Fundo. **Anais** [...]. Brasília, DF: SOBER, 2002.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0034-75901995000300004.

GOLDBERG, R. A. **Agribusiness coordination**: a systems approach to the wheat, soybean and Florida orange economies. Boston: Harvard University, 1968.

GUIDUCCI, R. do C. N.; LIMA FILHO, J. R. de; MOTA, M. M. (Ed.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários**: metodologia e estudos de caso. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 535 p.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 32 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 54). Disponível em: http:// www. infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/312925.

HOFF, S. As relações sociais no cultivo do fumo. **REDES**: Revista do Desenvolvimento Regional, v. 19, n. 3, p. 31-50, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.17058/redes.v19i3.4024.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Indústria Brasileira de Árvores**: relatório 2017. Disponível em: https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf. Acesso em: 9 jul. 2019.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Indústria Brasileira de Árvores**: 2018. Dados do Relatório Ibá 2018: ano-base 2017. Disponível em: https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf. Acesso em: 6 jul. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da extração vegetal e da silvicultura (PEVS)**. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/291> Acesso em: 9 jul. 2019.

JOHNSON, B.; FREITAS FILHO, A.; PAEZ, M. L.; WRIGHT, J.; SANTOS, S. A. Planejamento estratégico em instituições de pesquisa agropecuária com estrutura descentralizada. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PESQUISA DE ADMINISTRAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 16., 1991, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: PACTO/IE/FEA/USP, 1991.

JOSINO, M. N.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; SOUZA, A. N.; JOAQUIM, M. S.; SIMIONI, F. J.; GASPAR, R. O. Financial impact of silviculture management regime flexibilization under risk conditions. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, e2831, 2020. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.19.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; MATSUURA, M. I. da S. F.; BARRANTES, L. De S.; SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. C. de A. **Análise de viabilidade econômica de um sistema de produção modal de eucalipto para lenha na região de Itapeva, SP**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 8 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 365). Disponível em:<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/ doc/1039390.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; REIS, C. F.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, V. L. E. de. **Análise de viabilidade econômica da produção de eucalipto para energia em Rio Verde, GO**. Colombo: Embrapa Florestas, 2019. 27 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 327). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1107401.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; JARENKOW, G. L. Impacto do rendimento de corte e da densidade de plantio na rentabilidade da silvicultura em pequenas propriedades em Santa Cruz do Sul-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 55, 2017, Santa Maria, RS. **Anais** [...].. Brasília, DF: SOBER, 2017a.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; SANTANA, L. F. de. Impacto do custo de transporte no risco da rentabilidade florestal na Região de Itapeva-SP. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 38, n. 132, p. 77-89, 2017b.

MORGAN, D. L. **Focus groups as qualitative research**. California: Sage Publications, 1988.

MORVAN, Y. **Fondements d´economie industrielle**. Paris: Economica, 1988.

SCHEFFLER, L. Colheita e transporte renderam mais do que madeira. Revista **Referência Florestal**, p. 57-61, ago. 2017.

SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; DEBONI, T. L.; PASSOS, B. M. dos. Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva/SP. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 310-323, 2018a. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509831602.

SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; PASSOS, B. M. dos; GIROTTO, S. B. F. T. Forest biomass chain of production: Challenges of small-scale forest production in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 889-898, 2018b. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.330.

SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; PASSOS, B. M. dos; GIROTTO, S. B. F. T. Produção de lenha de eucalipto para energia: o desafio do pequeno produtor fumicultor de Santa Cruz do Sul/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 53, 2015, João Pessoa-PB. **Anais** [...].. Brasília, DF: SOBER, 2015.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Abordagens teóricas para análise do agronegócio. In: BINOTTO, E. (Org.). **Tecnologia e processos agroindustriais**. Passo Fundo: Ed. da Universidade de Passo Fundo, 2007. p. 17-43.

SIMIONI, F. J.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; FACHINELLO, A. L.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; MATSUURA, M. I. da S. F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal de silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 731-742, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.5902/1980509827758.

26

Florestas energéticas

Osmir José Lavoranti
Antônio Francisco Jurado Bellote
Cláudio César de Almeida Buschinelli
Flávio José Simioni
Guilherme de Castro Andrade
Helton Damin da Silva (in memoriam)
José Otávio Brito
Jorge Ribaski
Mônica Caramez Triches Damaso
Paulo Eduardo Telles dos Santos
Sônia Couri

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Em 2006 foram editadas as Diretrizes de Política de Agroenergia pelo Governo Federal Brasileiro. A Embrapa, atendendo orientação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), incluiu no seu programa de pesquisa estratégica para o Brasil, a Plataforma de Agroenergia. Nessa ocasião, à Embrapa Florestas foi delegada a responsabilidade de elaboração de um projeto em rede que teve sua primeira fase iniciada em 2007 e a segunda em 2011. A conclusão desse projeto ocorreu em 2016 e contou com a participação de 120 pesquisadores, 21 Unidades da Embrapa, 17 universidades, 11 empresas públicas e privadas, 2 instituições de pesquisa e 2 cooperativas.

Os objetivos do projeto foram aprimorar tanto a matéria-prima, com uma maior disponibilização de material genético, quanto as técnicas de silvicultura para o rendimento da biomassa florestal como fonte de energia, bem como trabalhar competências regionais em todo o País, a partir da qualificação técnica. Os desafios foram a produção da biomassa florestal em grande escala e o desenvolvimento de tecnologias para a conversão de biomassa em energia mais sustentável.

A base do projeto foi a cultura do eucalipto. Os pesquisadores detectaram a necessidade de avaliar diferentes materiais genéticos no Brasil, para gerar mais informações sobre o comportamento de espécies em uma região específica, visando uma maior produtividade de biomassa florestal e, consequentemente, de energia. Isso ocorreu, por exemplo, nas regiões Nordeste e Centro-Oeste do País. Com o objetivo de alcançar uma densidade energética maior que aquela presente nos exemplares já existentes nessas áreas, foram introduzidos novos materiais genéticos nestas duas regiões. No Centro-Oeste, onde há limitação da qualidade do solo, mas não de quantidade de chuva, os pesquisadores optaram pela espécie *E. urophylla* que já era trabalhada em São Paulo e que rendia 20% mais energia pela mesma quantidade de biomassa.

No caso do Nordeste, em que o eucalipto existente na região apresenta um desenvolvimento considerado aquém do esperado, o projeto visou aumentar o rendimento da biomassa florestal naquele local. Foram introduzidas as espécies *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E. crebra*, com material genético procedente de regiões mais áridas da Austrália, e na Chapada do Araripe, região mais favorável para a silvicultura de eucaliptos, com precipitação pluviométrica média anual de 750 mm, dois híbridos foram testados no município de Araripina-PE: *E. brassiana* x *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. camaldulensis*. Os testes foram conduzidos em conjunto com a iniciativa privada brasileira, introduzindo essa nova alternativa, que já rendia 23 metros cúbicos de madeira para energia, contra os cinco metros cúbicos de madeira obtida da Caatinga. Esse procedimento pode contribuir para a diminuição da pressão de consumo sobre a floresta nativa, como fonte disponível de biomassa para energia, além de propiciar uma maior produtividade de madeira, impactando aspectos sociais e chegando ao

objetivo maior de aumentar a participação deste tipo de fonte de energia na matriz energética.

Outro desafio do projeto foi atuar na parte tecnológica para a transformação da biomassa florestal em energia, como é o caso da produção de carvão que, atualmente, possui técnicas com baixos rendimentos, altos níveis de poluição e que geram impactos sociais negativos. Tendo em vista que o carvão e a lenha têm participação de 12% na matriz energética brasileira, os pesquisadores decidiram melhorar esses processos de produção, focando pequenos e médios produtores. Em 2012, o País consumiu 400 mil metros cúbicos de carvão. Estima-se que 55% de toda a madeira consumida no Brasil seja destinada à energia utilizada na preparação de alimentos, secagem de grãos e usinas termoelétricas.

Durante a execução do projeto foi desenvolvido um layout de fornos para pequenas produções de carvão (dois a três metros cúbicos), sem a emissão de gases de efeito estufa, a partir da queima desses gases. Trata-se de forno que emite apenas vapor d'água (Oliveira, 2013). Outro objetivo foi desenvolver um forno com a mesma tecnologia, mas para o médio produtor. Nesse caso, o forno teria quatro unidades separadas para a realização de um processo contínuo, sem que o produtor precisasse esperar a finalização de cada etapa da transformação da madeira em carvão (carbonização, resfriamento, preparo do carvão e secagem – nessa etapa, gases gerados por todo o processo, que são queimados para evitar sua emissão para o ambiente, resultam em energia utilizada na secagem, de maneira uniforme dentro do forno, aumentando o rendimento energético). Assim, com a otimização do processo por meio desse modelo de forno, tornou-se possível produzir até 30 metros cúbicos de carvão (Cardoso et al., 2010).

Os pesquisadores também desenvolveram um protótipo de fogão a lenha que retém mais energia gerada a partir da queima da madeira (Avanços..., 2016a). Essa atividade foi realizada em conjunto com as Universidades do Pará e de Mato Grosso do Sul. A iniciativa teve uma grande importância, porque cerca de 15 milhões de brasileiros ainda dependem do fogão a lenha para a cocção de alimentos. Além disso, nos fogões utilizados atualmente, somente 10% da energia gerada pela queima da lenha é aproveitada no local. Os pesquisadores desenvolveram também um protótipo de fogão que não resulta em emissões de metano, originadas pela queima da madeira (Avanços..., 2016a). Esse trabalho segue em continuidade nas referidas universidades parceiras.

Paralelamente, os integrantes do projeto Florestas Energéticas trabalharam na normatização do carvão vegetal, incluindo as regras de comercialização. Os dados levantados foram estudados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para a criação de normas ao setor (http://www.abnt.org.br/noticias/4078-abnt-elabora-normas-de-carvao-vegetal). Entre os aspectos divulgados está a identificação da origem do carvão, principalmente pelos agentes fiscalizadores. Um dos objetivos deste

trabalho foi coibir a produção ilegal de carvão a partir de florestas nativas. Atualmente, cerca de 50% da matéria-prima para a produção de carvão vêm de florestas ilegalmente cortadas.

Além da lenha e do carvão, o projeto buscou novas tecnologias para a produção de energia com alto valor agregado. O objetivo foi oferecer um desempenho ainda melhor na geração de energia e, consequentemente, intensificar o uso da biomassa florestal na matriz energética brasileira. A pesquisa avaliou outros produtos a partir da biomassa das florestas para conseguir melhores rendimentos energéticos, como o etanol a partir da madeira, o bio-óleo e também a celulolignina, resultado da junção das moléculas de celulose e lignina, transformadas em um composto sólido com uma densidade energética dez vezes maior que àquela da madeira in natura (Avanços..., 2016b). Os pesquisadores aproveitaram uma tecnologia similar, feita no Rio Grande do Sul a partir da palha do arroz, e adaptaram o método para a madeira. A maior aplicação da celulolignina seria para termoelétricas, que ganhariam uma alternativa à madeira utilizada. A celulolignina é mais fácil de ser transportada e tiraria a obrigatoriedade da presença de florestas ao lado das termoelétricas, o que é necessário para atender a demanda desse tipo de processo de geração de energia.

O projeto ainda identificou dois subprodutos do bio-óleo, sendo que um deles pode ser utilizado diretamente como fonte de energia. Os finos de carvão que, depois de um processo de compactação (briquetagem), são transformados em carvão de altíssima densidade energética. O outro subproduto é o extrato ácido, que pode ser aplicado como defensivo agrícola (Avanços..., 2016b).

O maior desafio do projeto, entretanto, foi a produção em larga escala do etanol a partir da madeira. O processo que, por hidrólise, transforma as moléculas de lignina e celulose em açúcar já é conhecido, mas acontece apenas em laboratório e com um alto custo. O encarecimento ocorre pela produção de enzimas (a partir de microorganismos) essenciais para a transformação da madeira em álcool (Avanços..., 2016b).

Os pesquisadores destacaram, ainda, como tecnologia futura promissora, a produção de hidrogênio a partir da madeira. Já há estudos mais aprofundados sobre o assunto na China e nos Estados Unidos, e o Brasil pode ser beneficiado com essa tecnologia, diante do potencial do uso da biomassa florestal e da demanda de hidrogênio da Petrobras (Avanços..., 2016b).

O projeto Florestas Energéticas ainda abordou, por meio de ações transversais voltadas para a sustentabilidade, estudos da cadeia produtiva relacionados à madeira para fins energéticos e avaliou os impactos sociais e ambientais na aplicação dessas tecnologias de geração de energia.

O Projeto em rede Florestas Energéticas trouxe uma série de benefícios e oportunidades que tiveram como principal desdobramento a consolidação, por meio da liderança da Embrapa, de uma rede multi-institucional e multidisciplinar com pesquisadores atuando nas quatro regiões brasileiras. Essa equipe, capacitada a desenvolver

tecnologias e envolvida em participações de eventos técnico-científicos, comissões públicas e privadas, ações de transferência de tecnologias, contatos com empresas, produtores e assistência técnica, identificou novas demandas de pesquisa que vão além da mera transformação da biomassa florestal em produtos energéticos. A visão é a ampliação dos estudos de produção de biomassa florestal e sua conversão visando não apenas o uso energético, mas também a geração de produtos químicos e materiais, em um conceito de Biorrefinaria Florestal.

Com amplitude nacional e subdividido em cinco projetos componentes e inter-relacionados, a primeira fase desse projeto (Fase I) teve como grandes desafios a produção da biomassa em escala e o desenvolvimento de tecnologias de conversão de biomassa em energia. O objetivo principal do projeto foi desenvolver, otimizar e viabilizar alternativas ao uso de fontes energéticas tradicionais não renováveis, por meio da biomassa de plantações florestais, contribuindo para a ampliação da matriz energética nacional de forma sustentável.

Os objetivos específicos foram:

- Estruturar, nas diversas regiões do País, populações de espécies florestais para oferta de germoplasma com tecnologias silviculturais apropriadas e necessárias à expansão de plantio de florestas para a produção de biomassa, em quantidade e qualidade apropriadas para uso energético;
- Desenvolver, otimizar e viabilizar alternativas de uso da biomassa florestal, como fonte renovável, para diversificar a matriz energética nacional de forma sustentável;
- Obter produtos de alto valor agregado da biomassa florestal, destinados à geração de energia, por meio do aprimoramento de tecnologias ou ajustes de processos para a obtenção de um extrato enzimático rico de atividade celulolítica e seu efeito na hidrólise de uma matriz lignocelulósica pré-tratada, pirólise, acidólise e oxidação parcial utilizando a mesma matriz;
- Efetuar estudos sobre a viabilidade, competitividade e sustentabilidade das cadeias produtivas de plantios florestais energéticos, bem como dos co-produtos resultantes na obtenção de biocombustíveis.

Durante o período de execução do projeto, foram desenvolvidas tecnologias e obtidos conhecimentos marcantes que geraram cerca de: 200 trabalhos técnicos e científicos; 40 reuniões técnicas realizadas com o objetivo de promover discussões relacionadas à sustentabilidade da cadeia produtiva das florestas plantadas com finalidades energéticas, por meio da difusão de conhecimentos silviculturais, aperfeiçoamento e inovações tecnológicas nos processos agroindustriais, diversificação da matriz energética com a obtenção de bioprodutos de alto valor agregado e bioenergia de segunda geração e inserção de pequenos e médios produtores no agronegócio florestal; 20 dissertações/teses; 50 estágios de graduação/pós-graduação; 200 ações de

transferência de tecnologia; 270 atividades de promoção da imagem e 10 eventos, dos quais se destaca o 1° Congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas. O Congresso foi o marco para a sedimentação do tema Florestas Energéticas no cenário nacional e para a consolidação da rede de pesquisadores. Soma-se a isso a participação efetiva da equipe nos seguintes contextos: no Programa de Agricultura de Baixo Carbono, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); no fórum de Carvão Vegetal da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, do Ministério da Economia (MDIC); na normatização do carvão vegetal da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); nos Comitês Gestores dos Grupos sobre Carvão Vegetal do MDIC; no Polo de Excelência em Florestas da Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do estado de Minas Gerais (SECTES/MG); na Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Florestas Plantadas do Mapa.

Quanto às tecnologias desenvolvidas, destacam-se: a oferta de genótipos para as diversas regiões brasileiras: para a região Sul, *E. benthamii, E. badjensis, E. dunnii*; para a região Sudeste, *E. urophylla* (clones AEC 144, AEC 224), híbrido "urograndis" (clone FO 2070), *E. cloeziana*, *C. maculata*; para a região Centro Oeste, *E. urophylla* (clones AEC 144, AEC 224), híbrido "urograndis" (clone H13), *E. pellita, E. cloeziana,* híbrido "*torelliodora*"; para a região Nordeste*, E. brassiana* x *E. urophylla* (clone), *E. grandis* x *E. camaldulensis* (clone), *E. tereticornis*, *E. crebra*, e para a região Norte, *E. urophylla* (clone AEC 144), o híbrido "urograndis" (clone H13) (Germoplasmas..., 2016); protocolos silviculturais para regiões carentes de tecnologia, práticas e processos agropecuários em sistemas de integração (ILPF) (Tecnologias..., 2016); peletizadora de resíduos da exploração florestal; carbonizador para a produção de carvão vegetal; equipamento de compactação de biomassa; metodologia de identificação da origem do carvão vegetal (Avanços..., 2016b); desenvolvimento de processo de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica; aproveitamento de lodos primários de empresas de reciclagem de papel para a produção de etanol; metodologia para determinação de etanol por meio de NIR; criação de um produto combustível derivado de madeira (celulignina); produção de bio-óleo; seleção de linhagem de micro-organismo para a produção de extrato enzimático; conversão de celulose em açúcar em resíduos celulósicos e da polpa de celulose (Avanços..., 2016a).

O projeto

- **Florestas energéticas na matriz de agroenergia brasileira** (2007-2011).
  Líderes: Helton Damin da Silva (2007/2008); Antonio Francisco Jurado Bellote (2009/2011)
- **Produção e conversão sustentável de biomassa em energia** (2011-2016).
  Líder: Antonio Francisco Jurado Bellote

Foto: Cláudio Cesar de A. Buschinelli

Figura 1. Talhão de híbrido "urograndis" com 8 anos e manejo para lenha e madeira (29/10/2013), Itapeva, SP.

A humanidade apresenta dependência energética proveniente de carbono fóssil, que representa aproximadamente 86,4% da necessidade energética global. Desse total, 36% corresponde ao petróleo, 27,4% ao carvão mineral e 23% ao gás natural (U.S. Energy Information Administration, 2020). Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, na matriz energética brasileira, o carbono fóssil representa 56,6%, sendo petróleo 43,1%; carvão mineral 6% e gás natural 7,5%. Destaca-se que as fontes renováveis têm grande contribuição, sendo que a energia elétrica participa com 14% e a produção de biomassa tradicional com 8,5% (Brasil, 2019).

O caráter finito das fontes petrolíferas e o excesso de poluição proveniente da energia derivada de petróleo estimula a sociedade global a pressionar por uma busca de energia limpa, das quais as mais evidentes são a biomassa, energia solar, energia eólica, energia dos oceanos e energia nuclear.

O Plano Nacional de Agroenergia elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), com o apoio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), tem ressaltado os pontos positivos e negativos e as reais possibilidades de participação de cada fonte da matriz energética. Nesse contexto, é possível observar que as fontes renováveis, apesar dos custos altos de obtenção, riscos

de intermitência, distribuição desigual e estágio tecnológico inferior às demais fontes em uso, apresentam aspectos positivos em relação à sustentabilidade dos sistemas produtivos.

A demanda brasileira por energia final, incluindo fontes oriundas de produtos agrícolas e florestais, hidroelétricas, eólicas, geotérmicas, solar e energia dos oceanos, deverá crescer 2,6% ao ano, nas duas próximas décadas, não considerando as interferências de políticas públicas ou de pressões sociais (Brasil, 2018). A biomassa representa a maior fonte sustentável de energia renovável, composta por 220 bilhões de toneladas de matéria seca anual disponíveis para uso energético.

O suprimento de madeira ao mundo provém, na sua maior parte, das florestas naturais (65%), sendo apenas 35% provenientes das florestas plantadas, demonstrando ainda a grande pressão de consumo existente sobre as florestas naturais. O Brasil possui, aproximadamente, 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas, das quais 5,7 milhões são florestas de eucalipto presentes, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). A demanda brasileira situa-se ao redor de 350 milhões de metros cúbicos de madeira, sendo que as florestas de eucalipto suprem apenas um terço do total da demanda anual e atual de madeira (IBÁ, 2019).

A participação das florestas plantadas no Brasil tem crescido sensivelmente nos últimos anos, principalmente no segmento de celulose e papel, onde 100% da madeira provém do reflorestamento com o eucalipto e pinus. Em 2018, o consumo brasileiro de madeira proveniente de árvores plantadas para uso industrial foi de 220,9 milhões de m^3, o que representa um aumento de 7,2% em relação ao consumo de 2017 (IBÁ, 2019).

Para a indústria do carvão vegetal, a área de florestas plantadas, principalmente com o eucalipto, cresceu de 73% em 2012, para 91% em 2018. O Brasil é responsável por 11% de todo o carvão vegetal produzido no mundo e o segmento de siderurgia a carvão vegetal responde por 12% de toda área plantada (IBÁ, 2019).

O consumo de lenha para geração de energia deverá concentrar-se, ainda, na demanda crescente dos setores da agroindústria rural, na secagem de grãos, chá ou tabaco, na produção de tijolos e na indústria cerâmica.

A conversão de energia e o acesso à sua utilização estão entre os grandes desafios de nosso tempo, incluindo a sustentabilidade, a qualidade ambiental, a segurança e a qualidade de vida, além da melhoria dos processos, resultando em melhores índices de conversão da biomassa em energia.

A principal utilização da madeira para energia encontra-se atrelada à sua combustão direta, na forma sólida, destinada à geração de calor para diversos fins. Nesse contexto, estão incluídos os tradicionais fogões a lenha, até as mais modernas caldeiras geradoras de vapor, que operam a combustão em leito fluidizado.

No campo das transformações, a pirólise surge como instrumento fundamental, por exemplo, para os processos de termorretificação e de carbonização da madeira. Na mesma proporção, os processos de compactação permitem o adensamento energético e a melhoria das condições de armazenamento, de transporte e de rendimento energético de resíduos florestais e madeireiros. Mesmo considerando a existência de trabalhos para tais rotas, cabem ainda pesquisas que visem a aperfeiçoamentos, avanços e inovações tecnológicas (Avanços..., 2016a).

Países como Brasil, África e China utilizam, em larga escala, o carvão vegetal como fonte de energia e matéria-prima, especialmente para as indústrias siderúrgicas. No Brasil, milhões de metros cúbicos de madeira de origem nativa e plantada são destinados anualmente para a produção dessa importante matéria-prima. A siderurgia necessita de grandes quantidades de carvão vegetal. Um problema relacionado ao uso do carvão vegetal é a sua variabilidade em qualidade, uma vez que esse produto sofre grande influência das características químicas, anatômicas e físicas da madeira e do processo de carbonização. A variabilidade ocasiona desperdício do material, podendo inclusive dificultar a operação dos altos fornos siderúrgicos. Nesse contexto, a seleção de novas matérias-primas deve levar em consideração as informações relacionadas a essas características. Também se faz necessário desenvolver protótipos de sistemas de carbonização que, além do aumento da produtividade, dispendam menores esforços físicos dos trabalhadores e proporcionem condições mais próprias e dignas de trabalho.

No processo de desenvolvimento de novas tecnologias, a biotecnologia é uma ferramenta poderosa no auxílio aos questionamentos impostos por esses desafios. A biotecnologia tem demonstrado que é capaz de originar os mais importantes e inovadores processos de conversão de energia. Como exemplo, a celulose é a fonte biológica natural renovável mais abundante do planeta, e a produção de produtos e bioenergia baseada na matriz lignocelulósica é importante para o desenvolvimento sustentável do ser humano. Há uma grande variedade de oportunidades bioenergéticas, tecnologias e aplicações a serem consideradas. Como fontes de celulose, têm-se as florestas plantadas, notadamente as de eucaliptos, a agricultura e os resíduos agroflorestais. Como tecnologias disponíveis, estão a combustão de material lignocelulósico, a gaseificação, a pirólise e a digestão anaeróbica que podem ser direcionadas para diversas aplicações, tais como: a geração de eletricidade, de calor e para o setor de transporte na substituição dos derivados do petróleo.

O aproveitamento da lignocelulose na produção de energia ainda depende de procedimentos que reduzam o custo de produção e, ou aumentem a atividade das enzimas hidrolíticas, assim como o aperfeiçoamento na construção de biorreatores para o uso da fermentação semissólida em escala comercial.

O conceito de biorrefinaria, ou seja, de completa utilização da biomassa, já tem sido discutido pelos pesquisadores e o seu desenvolvimento será de fundamental

importância para a sustentabilidade. Além disso, propiciará a produção e a comercialização de *biocomodities* que são idênticas, ou exercem função similar, às *commodities* produzidas pela indústria petroquímica. Assim, a fração celulósica e hemicelulósica são hidrolisadas e os açúcares fermentescíveis produzidos podem ser convertidos em variados produtos. Já a fração de lignina pode ser usada como combustível e funcionalizada ou craqueada para a obtenção de estruturas aromáticas.

Outros produtos tais como o bio-óleo in natura praticamente não têm outra aplicação a não ser o seu uso como insumo energético. Um exemplo disso é a queima direta em fornalhas para aplicação térmica em caldeiras ou geração de vapor no processo "ciclo vapor" (ciclo Rankine), como faz a empresa V&M Tubes de Minas Gerais com o alcatrão de carbonização de eucalipto. Outra aplicação consiste na geração elétrica em turbinas a gás, como faz a empresa Dynamotive do Canadá, em escala demonstrativa, com o uso das turbinas de 2,5 MW, e da Orenda, especialmente desenvolvidas para o uso do bio-óleo de pirólise rápida de biomassa. Entretanto, a introdução de um combustível na matriz energética veicular e mesmo de motores estacionários é uma tarefa difícil no curto prazo. Da mesma forma que o petróleo, o bio-óleo pode ser fracionado e utilizado como insumo pelas indústrias químicas, farmacêuticas e de alimento (Mesa-Perez, 2004).

Um dos subprodutos do processo de pirólise é o extrato ácido, uma solução aquosa que, diluída em água, é aproveitada em áreas agrícolas. A solução funciona como um bioestimulante em culturas como a soja e o café e na fruticultura (laranja, caqui e maracujá, por exemplo). O uso do extrato ácido na agricultura possibilita reduzir em até 50% o uso de agrotóxicos e de adubos químicos, sem perda de eficiência (Rezendez, 2002).

Atualmente, existe uma demanda muito grande no Brasil para a produção de carvão mediante o emprego de resíduos vegetais. O carvão de resíduos vegetais obtido pelo processo de pirólise rápida em leito fluidizado é um carvão em forma de pó. Por meio do processo de briquetagem do carvão vegetal com o uso de aglutinantes, ou seja, utilizando uma técnica que envolve balanceamento granulométrico, mistura proporcional de aglutinante, compactação e secagem, consegue-se o aproveitamento dos finos de carvão na forma de um combustível mais homogêneo, de melhor densidade, granulometria uniforme, maior resistência mecânica e baixa geração de finos. Ao mesmo tempo, são mantidas as características energéticas do carvão, além do seu manuseio, estocagem e utilização tornarem-se facilitados e seu transporte poder ser feito em maiores distâncias. Apesar de ser o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, o Brasil não possui tradição industrial na produção de briquetes de carvão (Brasil, 2019).

O combustível catalítico denominado celulignina apresenta características adequadas para a geração de energia por ciclo combinado e para obtenção de gás de síntese para a produção de combustíveis (metanol e outros). A celulignina é obtida

por via da pré-hidrólise ácida, em reator piloto de aço revestido com titânio, apto a suportar as condições agressivas do meio reacional.

A busca de soluções para reduzir a dependência do petróleo, considerada por muitos como em processo de superação como fonte energética pelo esgotamento das reservas, bem como pelos impactos ambientais decorrentes de sua utilização, aponta para as fontes renováveis de energia, entre elas a madeira. O setor florestal tem a oportunidade de contribuir para a composição da matriz energética nacional, a partir do momento em que se pretende atuar no desenvolvimento de produtos e processos tecnológicos destinados ao aumento do uso de fontes renováveis de energia. Nesse contexto, há a necessidade de se realizar pesquisas sobre qualidade específica da madeira de florestas plantadas e, ou nativas manejadas para os seguintes fins: aplicações energéticas; aperfeiçoamentos e inovações no campo da compactação de resíduos florestais e madeireiros, visando maior agregação energética; aperfeiçoamentos e inovações em equipamentos usados para combustão direta da madeira em ambientes residenciais e em pequenos empreendimentos industriais; produção de madeira termorretificada; aperfeiçoamentos e inovações em equipamentos usados na produção de carvão vegetal.

A cadeia produtiva de biomassa florestal do Brasil tem a oportunidade de gerar vários produtos (madeira, lenha, carvão, celulose, chapas de fibras, bio-óleo, eletricidade etc.), muitos dos quais geradores de energia capazes de substituir, com vantagens sociais, ambientais e econômicas, os derivados de petróleo (Produção..., 2016). Destaca-se também a crescente e inevitável conscientização dos povos com relação à necessidade de preservação e conservação dos recursos naturais do planeta.

Um dos problemas da pesquisa é examinar o desempenho atual (em termos de eficiência produtiva e qualidade de produtos) de cada um dos produtos passíveis de serem incorporados à matriz energética, determinando alguns indicadores-chave e fatores críticos de desempenho. Com base nesses indicadores, é possível extrapolar as possibilidades potenciais de operação desses produtos na obtenção de biocombustíveis, sempre tendo como referência a viabilidade, competitividade e a sustentabilidade.

A potencialidade técnica da produção de biomassa para energia, enquanto fonte renovável, torna-a capaz de atender grande parte da demanda incremental de energia do mundo, independente da origem da demanda (eletricidade, aquecimento ou transporte). Aspectos importantes devem ser salientados: a viabilidade econômica, a sustentabilidade de cada fonte e a disponibilidade de recursos renováveis para geração de energia. O potencial e a origem ou fonte de geração de energia variam de região para região. Assim, as regiões tropicais possuem forte incidência de radiação solar, enquanto as áreas planas, em especial as costeiras, apresentam maior potencial eólico. O lixo e os resíduos orgânicos estão disponíveis em abundância e é efeito direto da urbanização.

No caso do Brasil, a principal vantagem ocorre no setor de produção primária, notadamente na produção de biomassa. Poucos países dispõem de condições de área em abundância, capazes de produzir de forma sustentável uma gama de culturas, entre elas a cultura florestal, sem competir com outros usos da terra como alimentação, lazer, moradia, vias de transporte, reservas etc.

Desde a década de 1990, a biomassa aparece como fonte potencial energética, tendência esta que transparece nos inúmeros trabalhos de cenarização que apontam-na como uma das principais fontes de energia do século XXI (Produção..., 2016). Diversos estudos de cenários indicaram que, entre 2025 e 2050, a participação da biomassa na matriz deverá variar entre 7% e 27% (Brasil, 2018)

O uso da biomassa para sequestro de carbono é ponto pacífico, sendo que o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) estima que 60 a 87 bilhões de toneladas de carbono poderão ser estocadas em florestas entre 1990 e 2050, equivalendo a 12-15% das emissões por combustíveis fósseis, no mesmo período (Crédito..., 2012).

Diante da necessidade de aumentar a oferta de madeira de florestas plantadas, torna-se imprescindível introduzir ou aperfeiçoar técnicas que contribuam eficientemente para o aumento da produtividade e melhoria da qualidade das plantações, conferindo sustentabilidade aos sistemas de produção sem prejuízos ao ambiente.

Os projetos componentes

- **Formação de base silvicultural para expansão de plantios florestais necessários à matriz de agroenergia brasileira** (2007-2011).
  Líder: Paulo Eduardo Telles dos Santos.
- **Germoplasmas para expansão da base florestal energética** (2011-2016).
  Líder: Paulo Eduardo Telles dos Santos.

Foto: Paulo Eduardo Telles dos Santos

Figura 2. Teste de progênies de *Eucalyptus benthamii* sob manejo silvicultural visando futura produção de sementes melhoradas, instalado em parceria com a empresa Golden Tree Reflorestadora em Candói, PR. Idade: 5 anos.

O Brasil é um País de dimensão continental e, por essa razão, diverso em termos de condições climáticas e tipos de solo. Praticamente em todos os biomas brasileiros, a vegetação nativa tem sido a garantia de suprimento de lenha para o atendimento de necessidades básicas das comunidades rurais.

De acordo com a projeção da população do Brasil pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2020, a população brasileira conta com aproximadamente 211 milhões de habitantes (IBGE, 2020), sendo que 16% da população vive no meio rural, segundo pesquisa apoiada pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário em 2015. Por esse motivo, o consumo de madeira como fonte primária de energia ainda é importante para a sobrevivência de um enorme contingente de pessoas que dependem dessa matéria-prima para o preparo de alimentos e aquecimento de ambientes durante o inverno. Mesmo nas cidades, a lenha é ainda intensamente utilizada em padarias e outros estabelecimentos comerciais do ramo de alimentação. No setor industrial, a biomassa florestal vem sendo utilizada em caldeiras para a geração de vapor e obtenção de energia elétrica, em processos de aquecimento de água, secagem de produtos, defumação, fundição, calcinação, entre outras utilizações diretas.

Dentre as espécies florestais, o eucalipto é o material mais plantado no território nacional, ocupando uma área superior a 5,7 milhões de hectares (IBÁ, 2019). A produtividade anual média nas condições aptas situa-se acima de 35 m^3/ha/ano de madeira, desde que ocorra pelo menos 1.000 mm anuais de precipitação pluviométrica. A madeira produzida é destinada para celulose/papel, geração de energia (na forma primária), biorredutor na siderurgia, manufatura de painéis à base de madeira reconstituída, obtenção de peças roliças, produção de sólidos madeiráveis a partir de serrados e laminados. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como os avanços técnicos em processos já conhecidos, a produção de bio-óleo, celulignina catalítica, gases de síntese (singás) e álcool a partir da celulose vêm assumindo papéis estratégicos e complementares aos atuais usos da madeira para fins energéticos (lenha e carvão).

Os germoplasmas de eucalipto economicamente importantes para as condições brasileiras constituem um número relativamente pequeno de materiais, apresentando variações quanto às procedências geográficas nos países de origem e locais de produção das sementes. Verifica-se uma tendência de aumento no uso de clones híbridos, uma vez que os programas de melhoramento nacionais têm enfatizado o uso dessa estratégia para mesclar características de interesse (adaptativas, crescimento, silviculturais e qualidade da madeira), explorar a heterose para taxa de crescimento e uniformizar a matéria-prima.

Além do eucalipto, várias espécies arbóreas possuem características vantajosas para uso energético, muito embora ainda não se conheçam todas as propriedades tecnológicas da madeira que as qualifiquem de forma mais contundente para essa finalidade.

Ao serem consideradas outras espécies arbóreas potenciais para fins energéticos, tais como o taxi-branco, *Acacia mangium*, angico-de-bezerro e mulateiro, entre outras potencialmente utilizáveis, o nível de informação é bastante rudimentar. Deve-se destacar que ainda não existem programas de melhoramento genético para esses materiais, estando a pesquisa num nível inicial, ou seja, restritas à identificação das melhores procedências quanto à adaptação e crescimento, ao estabelecimento de protocolos silviculturais e à avaliação preliminar de qualidade de madeira.

Na nova conjuntura que se pretende desenhar para a agricultura familiar, por meio da disseminação do modelo de arranjos produtivos locais, o item "energia" passa a fazer parte do contexto. Nesse sentido, a presença do componente arbustivo-arbóreo nas propriedades rurais passa a ser inevitável. Produtividade, rusticidade, baixo consumo de defensivos agrícolas e pequena necessidade de mão de obra constituem-se fatores favoráveis ao se adotar sistemas que contemplem a utilização de árvores.

Para os grandes empreendimentos empresariais, voltados para o agronegócio (agrícola ou florestal), a formação de plantações florestais a partir de germoplasmas produtivos, adaptados e de alto rendimento energético, que consubstanciem uma alta relação benefício-custo, constitui forte atrativo para diminuir a dependência de fontes não renováveis de energia.

Em qualquer situação, as instituições de pesquisa exercem um papel de suma importância. A continuidade das investigações em melhoramento genético, zoneamento climático e silvicultura são fundamentais, pois há muito que se avançar em termos de qualificação de matéria-prima para uso energético, melhoria de características da madeira, ajuste dos germoplasmas às condições de clima e de solo para fins de plantio, definição de espaçamento de plantio e idade de rotação, desenvolvimento de novas combinações híbridas e protocolos de clonagem, entre outros temas.

Para a obtenção de biomassa energética a partir de plantações florestais, a identificação de material genético com características mais apropriadas para a produção, a ampliação da oferta de material propagativo de qualidade e o desenvolvimento de sistemas silviculturais adequados para a obtenção de produtos energéticos constituem-se os principais desafios. Neste particular, vale destacar o esforço da pesquisa brasileira nas últimas três décadas, que elevou a produtividade média anual de 15-18 m^3 ha^{-1} para 35-45 m^3 ha^{-1} mediante seleção genética de árvores superiores, propagação massal vegetativa de clones, plantio com preparo conservativo de solo e adequada nutrição das plantas por meio da adubação química. Entretanto, a produtividade florestal expressa em volume de madeira não é a mais adequada para considerações energéticas, uma vez que as unidades utilizadas para avaliações do potencial energético são consideradas em unidades de massa (g, kg, t). Vale destacar que a madeira, por ocasião do corte, apresenta teor elevado de umidade, não devendo ser transportada e nem utilizada de imediato. Como exemplo, o corte de uma floresta efetuado com um clone de baixa densidade básica da madeira (0,40 g cm^{-3}), aos sete anos de idade,

resultou em uma produtividade anual de 46 m^3 ha^{-1} e peso de 126 t sem casca (Seixas et al., 2005).

Para atribuir qualidade à biomassa produzida para fins energéticos, deve-se entender as propriedades relativas da madeira como combustível. Uma das mais importantes propriedades de um combustível é o seu poder calorífico, que usualmente é obtido medindo-se o calor liberado pela queima de uma quantidade conhecida de combustível.

O poder calorífico pode ser classificado em superior e inferior. A Norma Técnica NBR 8633 (ABNT, 1984) define o poder calorífico superior como sendo o número de unidades de calor liberados pela combustão de uma unidade de massa de uma substância, em bomba calorimétrica, em atmosfera de oxigênio, sob volume constante e sob condições específicas, de modo que toda a água proveniente da combustão esteja no estado líquido. O poder calorífico inferior é o calor efetivamente disponível por unidade de massa da madeira ou outro combustível e é calculado a partir do poder calorífico superior deduzindo-se as perdas de energia com a evaporação de água formada durante a combustão.

A densidade da madeira não tem correlação com o poder calorífico, entretanto determina o volume de biomassa a ser transportado e inserido nas fornalhas. Uma baixa densidade resulta em aumento de custos de transporte (maior volume), além de exigir mais trabalho na alimentação das fornalhas. Para a produção de lenha, em geral, a maior preocupação é o poder calorífico. Todavia, a maioria dos problemas na conversão da biomassa em energia pelo processo da combustão não estão relacionados com o poder calorífico superior. Os entraves mais comuns são o teor de umidade e a densidade da madeira.

A combinação da produtividade florestal (m^3 ha^{-1}) com poder calorífico (kcal kg^{-1}) e estas com densidade da madeira (kg m^{-3}) propiciam a geração de uma nova variável discriminatória denominada "produtividade energética" (kcal ha^{-1}), a qual, ao menos para a classificação de materiais quanto ao uso como fonte primária de energia (lenha e carvão), tem-se mostrado útil. Para os demais derivados e co-produtos energéticos, há necessidade de embutir determinações específicas, especialmente no mérito de características químicas da madeira (por exemplo: conteúdo de lignina, carboidratos, extrativos, cinzas, material volátil, enxofre, sódio, potássio, relação siringil/guaiacil, entre outras).

A umidade na biomassa absorve uma parte considerável da energia liberada na combustão do material lignocelulósico sendo, portanto, indesejável. Isso, em virtude de sobrar menos energia para a geração de energia elétrica, vapor de processo ou calor.

O teor de umidade da madeira varia entre 45% e 70% com base úmida e depende de fatores como espécie, clima, armazenamento, entre outros. Esta heterogeneidade torna o processo de combustão mais difícil. A madeira cortada e seca ao ar (por período entre seis meses e um ano) e abrigada das intempéries apresenta teor de umidade entre

15% e 25%. A madeira com teor de umidade acima de 65% não consegue entrar em combustão, sendo necessária uma fonte extra de energia para a secagem até níveis adequados.

Nas condições de Lavras-MG, duas árvores de eucalipto de 25 anos foram cortadas em toras de 2 m e secas ao ar livre por 240 dias, sendo demonstrado que a maior perda de umidade ocorreu nas primeiras duas semanas, sendo que, ao final do período, as toras mantidas com casca ainda apresentavam 19% de umidade, enquanto que as sem casca atingiram 17% de umidade, diante de uma umidade inicial de 73% e 83%, respectivamente (Rezende et al., 2010). Nesse estudo, após 80 dias os teores de umidade variaram de forma insignificante, praticamente se estabilizando.

As características de madeira para uso doméstico levam em conta classificações que não são usadas para aplicações industriais. Por exemplo, as seguintes propriedades são consideradas: facilidade para o corte e rachamento, facilidade de ignição, nível de fagulhas e nível de fumaça.

Um bom parâmetro para avaliar de forma rápida o conteúdo energético de lenhas é o uso do poder calorífico por unidade de volume de madeira, em vez da unidade de massa. Para tanto, basta multiplicar o poder calorífico pelo valor da densidade.

Ressalta-se que a madeira possui um teor de enxofre muito baixo e desprezível, não causando poluição significativa durante a queima por emissão de compostos sulfurosos, ao contrário dos combustíveis fósseis. O enxofre presente nos combustíveis gera, durante a combustão, principalmente o dióxido de enxofre que, combinado com a água das chuvas, resulta em ácido sulfúrico diluído, mas também produz outras substâncias potencialmente muito tóxicas.

A composição molecular da madeira é formada por três constituintes principais, a celulose, a lignina e as polioses. Além destes, ainda existem na madeira os extrativos que são responsáveis por algumas propriedades como cor, gosto, odor e durabilidade natural.

O poder calorífico é mais alto quanto maior for o teor de lignina e extrativos, porque os mesmos contêm menor teor de oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e polioses). Quando a finalidade do uso da biomassa de origem florestal for a combustão ou a carbonização, o maior teor de lignina é desejável, o que não significa que a densidade não seja importante.

Para o caso da produção de álcool a partir de material lignocelulósico, o menor teor de lignina deve favorecer a hidrólise enzimática. A hidrólise enzimática visa a degradação dos polissacarídeos presentes na madeira em suas unidades monoméricas básicas, ou seja, os açúcares. Pelo processo da fermentação estes açúcares são transformados em álcool. Via de regra, antes do processo enzimático é necessário um pré-tratamento da madeira, a fim de expor os polissacarídeos à ação das enzimas. Muitos dos pré-tratamentos objetivam a remoção parcial da lignina, assim sendo, a composição química da lignina, além do seu teor, pode influenciar os mais diversos processos.

Com base no que foi descrito, depreende-se que, para uma apropriada definição dos materiais a serem cultivados para fins energéticos, além das características físicas e da composição química, outras condicionantes devem ser observadas, tais como a facilidade de propagação por mudas clonais ou por sementes, a perda de água no processo de secagem, as adaptações das espécies às condições locais, entre outros aspectos.

- **Desenvolvimento de tecnologias silviculturais para produção de florestas energéticas de eucalipto** (2011-2016).
  Líder: Jorge Ribaski

Foto: Jorge Ribaski

Figura 3. Sistema de integração pecuária-floresta (sistema silvipastoril) implantado na Zona da Mata de Minas Gerais, visando à diversificação de renda na propriedade rural por meio da exploração de madeira e proporcionar conforto térmico ao gado leiteiro.

A contribuição do setor florestal na economia e no desenvolvimento do País é inegável. O Brasil é um dos líderes na produção de biomassa florestal para celulose, papel e energia. As florestas plantadas com as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* destacam-se por serem a principal fonte de suprimento de madeira das cadeias produtivas de importantes segmentos industriais como os de celulose e papel, painéis reconstituídos, móveis, siderurgia com carvão vegetal, energia e produtos de madeira sólida.

As atividades do Setor de Florestas Plantadas podem ser consideradas um caso de sucesso dentre os diversos setores da economia nacional. O setor apresentou crescimento de 13,1% em 2018, alcançando uma receita setorial de R$ 86,6 bilhões. Nesse mesmo ano, a área ocupada por plantios florestais, principalmente de *Eucalyptus* e *Pinus*, totalizou 7,83 milhões de hectares. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares desse total (73%), enquanto as áreas com pínus somam 1,6 milhão

de hectares, e outras espécies, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá, representam cerca de 590 mil hectares (IBÁ, 2019)

O eucalipto, particularmente devido às características de rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade e adaptação e por ter aplicação para diferentes finalidades tem sido extensivamente utilizado em plantios florestais (Mora; Garcia, 2000). Deve-se ressaltar que sua área plantada continua em processo de expansão. Já para *Pinus* evidencia-se a tendência de estagnação ou até mesmo ligeira redução dos plantios, em parte devido à substituição dessas áreas por plantios de *Eucalyptus*, cujo rendimento em volume é superior ao dessa conífera.

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal e responsável por 11% de todo o carvão vegetal produzido globalmente (IBÁ, 2019), sendo os principais consumidores os setores de ferro-gusa, aço e ferros-liga e, em menor escala, o comércio e o consumidor residencial (Abraf, 2011). O carvão vegetal apresenta inúmeras vantagens em relação ao carvão mineral. É uma fonte de recurso renovável, menos poluente e a tecnologia para sua fabricação já está amplamente consolidada no Brasil.

Entretanto, em 2012, aproximadamente 40% da produção brasileira de carvão vegetal era proveniente de florestas nativas (Modernização..., 2015; IBÁ, 2019). Com a Lei do estado de Minas Gerais 18.365/2009, que alterou a legislação florestal daquele Estado, que é o maior produtor de carvão vegetal do País, e determinou a redução progressiva do consumo de produtos ou subprodutos originados da vegetação nativa, em especial o carvão vegetal. Assim, após essa medida, a cada ano o consumo de madeira nativa diminui, sendo substituída por madeira de florestas plantadas, em função do maior controle exercido pelos órgãos fiscalizadores e também pelo aumento das pressões sociais na preservação dos recursos naturais (Abraf, 2011).

Dessa forma, do total de carvão consumido em 2018, em torno de 90% foi produzido a partir de madeira oriunda de árvores plantadas. Esse é um significativo aumento (5,9%) em relação a 2017, confirmando a tendência de queda no uso de madeira de florestas nativas que já vinha sendo apresentada nos últimos anos (IBÁ, 2019).

Ainda em 2018, um dos mais importantes insumos da indústria siderúrgica, o carvão vegetal registrou consumo de 4,6 milhões de toneladas no Brasil, um aumento de 2,5% em relação a 2017, principalmente em função do aumento da atividade do setor (IBÁ, 2019). Conforme estudos das projeções de produção de gusa a carvão vegetal para 2020, valores mais conservadores, onde se utilizou um crescimento linear de 5% a.a., chegou-se a 11,0 milhões de toneladas para 2020 (Scherer, 2014). Para se atingir esses valores de produção de ferro-gusa, estima-se que sejam necessários estoques de madeira de florestas plantadas em torno de 35,6 milhões de metros cúbicos (Modernização..., 2015)

Por outro lado, dados do Relatório de Projeções do Agronegócio 2009/2010 a 2019/2020, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) indicam

elevado potencial de crescimento do agronegócio brasileiro para os próximos anos. Assim, a demanda pelo consumo de lenha e derivados da madeira para geração de energia, visando atender os setores da agroindústria localizada no meio rural, também deverá ter um crescimento significativo.

Espera-se que todo esse crescimento da produção agrícola brasileira ocorra por meio, principalmente, do aumento da produtividade, resultante do maior emprego de tecnologia, do aumento da eficiência dos fatores de produção e do uso de sistemas sustentáveis de produção. Entretanto, o que tem sido observado nesses últimos anos é que esses aumentos na produção têm acarretado uma grande demanda por recursos naturais (solo, água e florestas), os quais são explorados, muitas vezes, de modo não adequado, comprometendo a sustentabilidade da atividade agropecuária brasileira.

Em 2016, o último ano de uma série histórica, o Brasil figurava como o sexto maior emissor anual de gases de efeito estufa, mostrando a importância e a necessidade de o País adotar políticas de baixa emissão de carbono. Nos cálculos mais atuais, considerando os anos mais recentes, o Brasil passou a ser o sétimo maior emissor (Os países..., 2019), sendo a principal causa de emissão a derrubada e a queima das florestas naturais para dar lugar à agricultura ou pecuária. Dentre as áreas cultivadas após os desmatamentos, a maior percentagem é ocupada por pastagens, sendo que boa parte delas se encontra degradada ou em processo de degradação, principalmente na Amazônia e no bioma Cerrado.

Nesses biomas, a pecuária, principalmente a bovinocultura, é uma das atividades que vêm sofrendo pressões para que adote sistemas de produção mais saudáveis ambientalmente. Sob o risco de perder a competitividade, ela terá que substituir o modelo extrativista e extensivo atualmente em uso por sistemas de produção ambientalmente mais sustentáveis, o que exigirá investimentos em novas tecnologias capazes de neutralizar a emissão de metano pelo rebanho de ruminantes sem, entretanto, reduzir a sua produtividade.

Dentro dessa ótica, o Mapa, juntamente com outros ministérios, estabeleceu o programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), cujo objetivo é a redução das emissões antrópicas de gases do efeito estufa (GEE), dando incentivo aos reflorestamentos e à recomposição da cobertura vegetal em áreas degradadas, integração de sistemas de produção e substituição de energia fóssil por renovável. Dentre as metas previstas pelo programa ABC, para o período de 2010 a 2020, estiveram: a) recuperação de uma área de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas; b) incremento do plantio de florestas econômicas em 3 milhões de hectares; c) adoção do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em 4 milhões de hectares. Prevendo, com isso, uma redução de 130 milhões de toneladas de GEE, em equivalente carbono.

O cumprimento das metas de recuperação de pastagens e a ampliação das áreas com ILPF possibilitaria alcançar uma redução de até 51,8 milhões de toneladas de carbono equivalentes (t CO_2eq.) ao ano, o que representa entre 32% e 39% da meta

total de redução de emissões prevista para o Plano ABC como um todo. Esses são alguns dos resultados do estudo Impactos Econômicos e Ambientais do Plano ABC realizado pelo Observatório ABC, que desenvolveu um modelo econômico-ambiental capaz de simular os efeitos da implementação dessas duas metas do Plano ABC até 2020 (Impactos..., 2017).

Além disso, os resultados desse estudo contribuem com uma primeira projeção dos impactos econômicos e ambientais do Programa ABC, os quais revelam os potenciais benefícios da agricultura de baixa emissão de carbono para o País, tanto na intensificação da produção com redução da pressão sobre os recursos naturais, quanto nos desdobramentos econômicos positivos para a sociedade, ou de baixo custo agregado dessas políticas (Impactos..., 2017)

No tocante ao incremento das áreas de florestas plantadas, os avanços nas pesquisas em relação à definição de espaçamento, clones, nutrição e manejo florestal já foram conseguidos para as áreas de plantios tradicionais. A silvicultura baseada nas espécies do gênero *Eucalyptus*, estimulada na década de 1970 pelos incentivos fiscais associados aos investimentos por parte das indústrias de celulose e papel e siderurgia, tornou o setor florestal fortemente competitivo, principalmente pelo segmento de florestas plantadas. Isso proporcionou enorme sucesso na silvicultura, no melhoramento genético e no desenvolvimento da tecnologia de plantio clonal de eucalipto, tecnologias essas responsáveis pela elevada produtividade florestal alcançada pelo gênero.

Por outro lado, para regiões com pouca ou nenhuma tradição em plantio florestal, ainda se requer o desenvolvimento e a viabilização de tecnologias para obter produtos de qualidade, diversificados e competitivos (Drumond et al., 2016). Essas regiões apresentam, muitas vezes, nível de conhecimento silvicultural e domínio tecnológico bastante rudimentar. Caracterizados, principalmente, pela falta de protocolos silviculturais e também pela ausência de programas de melhoramento genético. Esses aspectos se agravam ainda mais quando se trata da pesquisa com espécies nativas.

Outro grande desafio do projeto é desenvolver tecnologias silviculturais capazes de incentivar a produção diversificada na propriedade, com menor impacto sobre o meio ambiente e, ao mesmo tempo, que possibilitem minimizar as emissões de gases do efeito estufa (GEE). Assim, será necessário adotar estratégias para desenvolver, no curto prazo, sistemas agropecuários que conciliem a produção de alimentos com a conservação ambiental. A adoção dessas práticas promove mudanças na produtividade e na quantidade de produtos da pecuária e de culturas agrícolas e florestais, alterando a oferta destes produtos e, consequentemente, o uso da terra. Por sua vez, essas mudanças levam a novos equilíbrios de oferta e demanda que se refletem para todos os setores da economia (Impactos..., 2017)

Dentro desse contexto, os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou sistemas agrossilvipastoris, constituem uma importante estratégia para maximizar

a produção por área e reduzir a emissão de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo conservar os recursos naturais pela integração de atividades agrícolas, pecuárias e florestais. A meta do Mapa com o programa ABC é expandir a utilização dessa tecnologia para quatro milhões de hectares e, com isso, evitar que entre 18 e 22 milhões de toneladas de CO_2 equivalente sejam liberadas.

O sistema integrado Floresta-Pecuária (sistema silvipastoril) tem sido apontado como uma importante alternativa de uso sustentado da terra, principalmente naquelas áreas potencialmente sujeitas à degradação e, também, como uma nova fonte de agregação de valor econômico na propriedade rural, por meio da exploração de madeira (Ribaski; Montoya, 2001; Dias Filho, 2007; Silva et al., 2009; Nicoli et al., 2017; Ribaski, 2019). A reincorporação ao processo produtivo de áreas alteradas, a partir de plantações florestais, pode contribuir significativamente para o aumento da oferta de madeira para múltiplo uso, e diminuir a pressão sobre as florestas nativas.

Diversos resultados de pesquisa comprovam a potencialidade dos sistemas agrossilvipastoris para aplicação no meio rural, pois se constituem em alternativas econômicas, ecológica e socialmente viáveis para o fortalecimento da agricultura familiar, proporcionando o aumento da produção, geração de empregos e, consequentemente, de renda dos produtores rurais, sempre primando pelo desenvolvimento sustentável, ou seja, pela produção com respeito ao ambiente (Passos et al., 1992; Oliveira et al., 2000; Ribaski et al., 2009; Nicoli et al., 2017).

Avaliações de desempenho animal e da pastagem em sub-bosque de eucalipto, realizadas em diferentes sistemas silvipastoris no País, evidenciam o grande potencial de produção destes sistemas, observando-se melhoria da qualidade da pastagem sombreada (Carvalho, 1998; Ribaski et al., 2003, 2019; Radomski; Ribaski, 2012), bem como ganhos de peso dos animais (Silva et al., 2009; Giraldo, 2014). Além disso, a presença do componente arbóreo em sistemas silvipastoris contribui para o bem-estar animal (Nicodemo et al., 2018) e redução dos danos provocados por geadas na pastagem, em regiões sujeitas a esse fenômeno (Carvalho, 1998; Joseph et al., 2019).

Contudo, ainda é comum verificar, em condições de propriedades rurais, dificuldades no estabelecimento e no manejo equilibrado entre os componentes agrícola, pecuário e florestal. Isso determina que muitos empreendimentos realizem uma integração temporária, isto é, apenas até o momento em que a árvore limite o crescimento dos outros componentes associados. Todavia, a partir de um bom planejamento e tomadas de decisões corretas, é possível integrar as atividades florestal, agrícola e pecuária com benefícios econômicos e ambientais. O sucesso dessa integração está alicerçado no equilíbrio da exploração dos recursos naturais pelos componentes bióticos deste sistema (Varella et al., 2009, 2016).

O Brasil atravessa um bom momento para adoção e multiplicação do conhecimento relativo aos sistemas integrados de produção, que se tornaram tendência na

última década. Fomentar, por exemplo, a conversão de áreas de pastagens em sistemas silvipastoris usando espécies de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus*, entre outras, poderá ser um importante diferencial competitivo do agronegócio brasileiro, tanto para o setor pecuário quanto para ao setor de base florestal, uma vez que estes sistemas apresentam a possibilidade de geração de emprego e incremento da renda com maior eficiência que a pecuária extensiva e, consequentemente, maior tendência para oferecer a sustentabilidade social e econômica.

- **Inovações de tecnologias ligadas aos usos tradicionais da madeira para fins energéticos no Brasil** (2007-2011).
  Líder: José Otávio Brito
- **Avanços tecnológicos ligados à lenha e ao carvão vegetal** (2011-2016).
  Lider: José Otávio Brito

Foto: José Otávio Brito

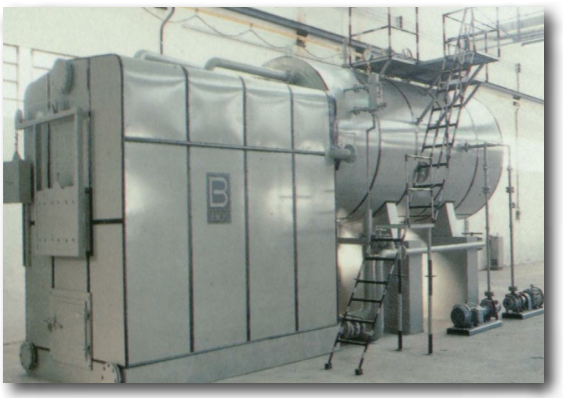


Figura 4. Caldeira de combustão de madeira.

É pleno o conhecimento que a biomassa vegetal de origem florestal, representada particularmente pela madeira, constitui-se num insumo indispensável para o atendimento energético no Brasil. Tal uso concentra-se na produção de carvão vegetal e nos consumos do setor residencial e industrial (Brasil, 2011).

Historicamente, pouca atenção oficial tem sido oferecida à madeira no seu papel como fonte de energia. Isso inclui o desenvolvimento de pesquisa e de tecnologia vinculadas ao seu principal processo de aplicação energética que é a combustão. Situação muito parecida pode ser encontrada para o carvão vegetal, apesar da existência de ações isoladas e intermitentes desenvolvidas por parte da indústria siderúrgica e algumas universidades, que o coloca num patamar um pouco mais acima.

Tais aspectos motivaram a inclusão do projeto "Inovações tecnológicas ligadas aos usos tradicionais da madeira para fins energéticos no Brasil", como componente do Projeto "Florestas Energéticas" da Embrapa e parcerias, que veio romper a barreira da não inclusão da biomassa vegetal de origem florestal nos planos nacionais estruturados de pesquisa de fontes limpas e renováveis de energia.

O desenvolvimento do projeto componente permitiu a obtenção de importantes resultados, de acordo com os seus objetivos originais. Ofereceu ainda a vantagem de perceber a necessidade de continuidade de estudos adicionais, visando maior avanço nas tecnologias ligadas à lenha e ao carvão vegetal. Em ações futuras, é importante concretizar e ampliar os conhecimentos sobre as questões ligadas à qualidade da biomassa vegetal de origem florestal para energia. Tradicionalmente, o conhecimento da qualidade da madeira é inerente às questões ligadas à seleção de matéria-prima, associados aos seus processamentos industriais, quer seja no campo físico-mecânico ou químico.

Dada à menor importância historicamente oferecida ao uso da madeira para energia, a questão da sua qualidade, inerente à tal aplicação, nunca foi profunda e amplamente considerada. Com o recente crescimento do interesse por tal uso, a qualidade da madeira ganha nova dimensão, particularmente considerando a combustão e a produção de carvão vegetal.

Sem dúvida, o uso da lenha na sua forma in natura se destaca em relação às suas aplicações energéticas. No entanto, ainda existem fortes e específicas demandas de informações, quanto ao potencial do seu pré-processamento, de modo a facilitar e ampliar as opções de uso, bem como disponibilizar maior quantidade de energia útil. Nesse contexto inclui-se a secagem, a compactação e a torrefação.

A concentração dos estudos sobre secagem de madeira tem sido voltada para os processos industriais, visando a aplicação da madeira para fins estruturais (Avanços..., 2016a). São raros, sobretudo considerando-se as condições climáticas do Brasil, os resultados de estudos sobre a secagem da madeira para seu uso como lenha, por exemplo. Quando existentes, são derivados de avaliações, onde não foram claramente definidos seus limites experimentais, bem como dotados de um forte conteúdo de empirismo. A demanda por estudos sobre secagem da madeira para energia já se localiza na simples questão de como controlar a umidade, considerando-se o seu empilhamento em condições de campo, após o corte das árvores. A disponibilidade quantitativa e temporal de energia útil pode ser profundamente afetada pelas condições dessa secagem (Avanços..., 2016a).

A compactação da biomassa constitui instrumento importantíssimo considerando o uso da biomassa para energia (Quirino, 1987). No caso da biomassa vegetal de origem florestal, a valorização dos resíduos, provenientes da colheita e do processamento industrial da madeira, ocupa lugar de destaque. Em geral, a compactação compreende os processos de briquetagem e, ou peletização. Apesar de já serem

tecnologias mundialmente bem conhecidas e com importante inserção no Brasil, ainda existem lacunas no campo da compactação, as quais merecem atenção especial. Nesse contexto, inclui-se a ampliação do conhecimento acerca do processo em si e das características dos produtos obtidos, considerando-se a oferta de resíduos de novas origens, do ponto de vista florestal. Também se incluem os resíduos provenientes do uso de novas espécies inseridas no mercado madeireiro, bem como novos tipos de resíduos obtidos da colheita florestal, sejam de florestas plantadas ou de florestas nativas sob regime de manejo sustentado. Além disso, deve-se contemplar o desenvolvimento de ações estratégicas que induzam o estabelecimento e a consolidação de normas e padrões de classificação para produtos compactados no Brasil.

A torrefação compreende a aplicação de calor à biomassa, com temperaturas na faixa entre 200 °C e 300 °C, que permite a obtenção de um material intermediário entre madeira e carvão, com altos rendimentos gravimétricos, num processo que possui baixa demanda energética. Essencialmente, a torrefação se encaixa perfeitamente no âmbito do pré-processamento de resíduos florestais. O produto obtido apresenta vantagens, quando comparado com o material original, como aumento do poder calorífico, diminuição da higroscopicidade, maior estabilização dimensional, maior resistência à degradação biológica, entre outros (Brito, 1993; Pincelli et al., 2002; Almeida et al., 2009). A torrefação é recomendada como pré-tratamento da biomassa antes da mesma ser submetida a diferentes processos, por exemplo, à gaseificação, pois confere uma maior uniformidade em sua característica, o que é altamente recomendável para o respectivo processo. O material obtido torna-se, ainda, mecanicamente menos resistente, o que o torna energeticamente menos exigente, quando submetido à moagem, devido à destruição parcial da sua estrutura fibrosa (Bergman et al., 2005). Essa condição é fundamental para viabilizar o uso da madeira em processos de combustão de materiais na forma de pó. Apesar de alguns avanços no campo da torrefação ocorridos no mundo, ainda não há uma inserção do processo no Brasil, sobretudo considerando a amplitude de possibilidades de oferta de resíduos de diferentes origens, do ponto de vista florestal e madeireiro, sejam os obtidos da colheita, sejam os de florestas plantadas ou nativas sob regime de manejo sustentado. Sob tais cenários, pesquisas sobre torrefação devem ser realizadas.

A combustão compreende o processo mais amplamente conhecido e difundido quanto ao uso da biomassa vegetal de origem florestal. O domínio tecnológico e de aplicação a ele vinculado é muito grande, sobretudo considerando o ambiente dos grandes usuários, que têm fácil acesso aos desenvolvimentos tecnológicos do setor. Esse fato, no entanto, não é totalmente válido para o Brasil, sobretudo se focado nos usuários dos setores residenciais e de pequenas indústrias. Em decorrência do histórico estímulo ao uso de combustíveis fósseis, os estudos sobre o tema têm sido relegados a um plano secundário. No entanto, dados os volumes consumidos de biomassa vegetal, principalmente de lenha, associados às implicações sociais inerentes aos mencionados

setores, ações devem ser conduzidas visando a otimização dos processos e o aumento dos rendimentos energéticos (Avanços..., 2016a). Torna-se, portanto, expressiva, ações envolvendo a avaliação da combustão de materiais de origem florestal, compreendendo a biomassa vegetal in natura ou pré-tratada em processos combinados ou não de compactação, torrefação e carbonização (Avanços..., 2016a). Associe-se a isso o desempenho técnica de equipamentos destinados à combustão desses materiais, visando a obtenção de calor para cocção de alimentos e para atendimento de pequenas indústrias.

Na atualidade, o Brasil detém o maior e mais amplo conhecimento tecnológico no campo da produção e uso do carvão vegetal, principalmente considerando o seu uso para produção siderúrgica. No entanto, ainda existe espaço para melhorias, sendo o maior entrave a alta variabilidade da matéria-prima, considerando diferenças químicas e físicas da madeira (Trugilho et al., 2005). Além do carvão vegetal per si considerando o seu rendimento e qualidade, amplia-se a demanda por estudos e avaliações referentes à caracterização de produtos gasosos da carbonização da madeira, incluídos como aspecto importante para o conhecimento de suas composições químicas, potenciais de uso e seus impactos ambientais.

- **Obtenção de derivados energéticos de alto valor agregado a partir de biomassa florestal** (2007-2011).
  Líder: Monica Caramez Triches Damaso
- **Avanços tecnológicos na produção de bio-óleo, gás de síntese, hidrogênio e etanol a partir de biomassa florestal** (2011-2016).
  Líder: Monica Caramez Triches Damaso

Foto: Vivian Chies

Figura 5. Planta de pirólise e gaseificação da Embrapa Agroenergia.

A biomassa lignocelulósica é composta basicamente de três principais frações de polímeros: lignina, hemicelulose e celulose. Diferentemente das matérias-primas açucaradas, nestes materiais os açúcares não estão prontamente disponíveis para conversão ao etanol. Estes precisam ser liberados a partir da celulose e da hemicelulose, mediante um processo de hidrólise. Para viabilizar este processo, no entanto, torna-se necessária a remoção da lignina que envolve estes polissacarídeos e que atua como uma espécie de barreira. Desta forma, a produção de etanol a partir deste tipo de material compreende as seguintes operações principais (Hamelinck et al., 2005): (1) pré-tratamento; (2) hidrólise e (3) fermentação.

O pré-tratamento tem o objetivo principal de aumentar a eficiência do processo de hidrólise enzimática. Isto pode ser alcançado utilizando diferentes princípios, tais como a quebra ou remoção da lignina e, ou da hemicelulose, o aumento da área superficial e a diminuição da cristalinidade da celulose (Mosier et al., 2005). Para uma ou mais dessas ações, diferentes tecnologias de pré-tratamento têm sido estudadas e sua aplicação depende de vários fatores, tais como as características da matéria-prima e das demais operações envolvidas no processo. Dentre os diversos atributos desejáveis para um processo de pré-tratamento, podem ser citados: baixo custo e facilidade de aplicação em escala industrial; minimização da degradação de açúcares e da formação de compostos inibidores; reaproveitamento máximo de subprodutos (como a lignina) e geração mínima de resíduos; não envolver adição de compostos tóxicos às enzimas ou aos microrganismos da fermentação; além de obviamente cumprir seu objetivo principal de aumentar a digestibilidade da matéria-prima (Yang; Wyman, 2008).

Para isto podem ser utilizados métodos físicos, químicos e biológicos, combinados ou não, sendo os termoquímicos e químicos considerados mais eficientes e com maior potencial para aplicação industrial (Alvira et al., 2010).

Pesquisas anteriores indicam a possibilidade de utilizar o lodo da indústria de papel e celulose para a obtenção de etanol, com a vantagem de não ser necessário seu pré-tratamento.

As estruturas da celulose e da hemicelulose apresentam diferentes susceptibilidades ao processo de hidrólise. A celulose apresenta maior resistência e, portanto, é necessária uma etapa adicional de hidrólise, que pode ser ácida (mais severa) ou enzimática. Comparativamente, a hidrólise enzimática normalmente apresenta condições de operação mais brandas, possibilidade de altos rendimentos e minimização da formação de produtos inibidores (Sun; Cheng, 2002).

O processo de hidrólise enzimática da celulose é executado com o auxílio de, pelo menos, três classes de enzimas que atuam de forma sinérgica: endoglucanases (β-1,4-D-glucan-glucanohidrolase), exoglucanases (β-1,4-D-glucan-celobiohidrolase) e β-glucosidase ou celobiase (β-D-glicoside-glucohidrolase). Este complexo de enzimas é chamado de "celulase" ou de "enzimas celulolíticas". As endoglucanases são responsáveis pela catálise da hidrólise das cadeias de celulose, produzindo polissacarídeos de

menor comprimento. As endoglucanases catalisam especificamente as terminações não redutoras dessas cadeias mais curtas, originando a celobiose. Já as β-glucosidases catalisam a hidrólise da celobiose e outros oligômeros. Com relação à sua origem, as celulases podem ser produzidas por fungos e bactérias (Taherzadeh; Karimi, 2007).

Na etapa seguinte, os açúcares liberados na hidrólise passam por um processo de fermentação para a produção do etanol, sob a ação de um microrganismo. Esta técnica é a mesma que já vem sendo empregada para a conversão dos açúcares da cana-de-açúcar em etanol. A diferença está nos tipos de açúcares liberados. No caso da cana-de-açúcar, os monossacarídeos a serem fermentados são basicamente hexoses. Já no caso das matérias-primas lignocelulósicas, o hidrolisado contém também outros tipos de açúcares. Enquanto a hidrólise da celulose fornece apenas hexoses (glicose), a da hemicelulose fornece hexoses (glicose, manose e galactose) e pentoses (xilose e arabinose). Para a fermentação das hexoses já existe tecnologia totalmente consolidada, porém o mesmo não ocorre com a bio-transformação das pentoses, as quais não são diretamente fermentadas pelos microrganismos tradicionais (*Saccharomyces cerevisiae*, por exemplo). Para contornar este problema, estudos têm sido conduzidos na área de engenharia genética, para desenvolver microrganismos com habilidade de consumir hexoses e pentoses (Jardine et al., 2009).

A fermentação pode ser realizada em etapa posterior à hidrólise enzimática ou simultaneamente a esta. Estes processos são denominados Hidrólise e Fermentação Separadas ("Separate Hydrolysis and Fermentation" - SHF) e Sacarificação e Fermentação Simultâneas ("Simultaneous Saccharification and Fermentation" - SSF). A principal vantagem da configuração SHF é a possibilidade de operar cada etapa (de hidrólise e de fermentação) em condição ótima de temperatura. Já o processo SSF permite: diminuição da inibição da hidrólise enzimática (devido à conversão simultânea da glicose em etanol), além de redução de custos, utilizando somente um equipamento para as operações de hidrólise e fermentação (Olofsson et al., 2008).

Existem duas tecnologias de gaseificação de biomassa, convencional e supercrítica, com vários estágios e produtos. A convencional é de baixa pressão (0,1 MPa), alta temperatura (800-1.500 ºC), exige secagem e O_2; e a supercrítica é de alta pressão (25 MPa), média temperatura (700 ºC) e sem secagem. Os múltiplos estágios e produtos da convencional são: preparação e secagem (Base Seca - BS); separação do ar (O_2/N_2); gaseificador (singás); limpeza (singás limpo, a ser utilizado na geração de energia elétrica); reforma a vapor após purificação e uso de catalisadores caros para produção de substitutos de petróleo pela tecnologia GTL (Gas-to-Liquids); substituição por água (water shift) (gases CO_2/H_2/CO/CH_4); PSA (H_2 puro); logística (H_2 líquido, H_2-duto, cilindro comprimido); sequestro de CO_2. A tecnologia supercrítica é composta dos seguintes estágios e produtos: pares de tubos ascendentes (pré-aquecedor) e descentes (reator) aquecidos em uma fornalha similar àquela usada na petroquímica; trocador de calor (recuperação térmica); esfriador; separadores de água/gás de alta e baixa pressão

(água, gases $H_2/CO_2/CO/CH_4$); PSA (H_2 puro pressurizado e gás residual $H_2/CO_2/CO/CH_4$); três bombas de água (para separador de alta, trocador de calor e lama de biomassa); usina termoelétrica - UTE (caldeira, turbina a vapor, condensadores utilizando os gases de combustão da fornalha gerando energia elétrica). A geração de H_2 por gaseificação de biomassa em água supercrítica (H_2–GBASC/UTE) funciona também como um reservatório energético quando integrado com a rede elétrica (hidráulica, térmica, eólica ou solar), diminuindo a produção da UTE e aumentando o H_2 que fica estocado no H_2-duto (2 MPa a 10 MPa) e vice-versa. Antal et al. (2000) alcançaram rendimento de 100 g H_2/kg BS com o uso de carvão ativado como catalisador.

Em 2002, foi implantada a Verena, uma planta piloto na Alemanha, porém os grandes desenvolvimentos estão sendo feitos na planta piloto SKLMF–State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, na Xi´an Jiatong University, Xi´an, Shaanni, na China. Além das vantagens já indicadas, ressaltam-se as seguintes: ASC (Apparent Surface Charge) tem alta constante dielétrica, dissolve todos os componentes da biomassa (inclusive lignina) numa reação homogênea com fácil transferência de massa entre fases; o processo de alta pressão permite separação e purificação do H_2 por PSA e seu despacho ainda em alta pressão (eficiente bombeamento de água em vez de ineficiente compressão de H_2 leve); uso de pares de tubos ascendentes/descendentes com injeção de lama na sua junção superior (diâmetro de 20 mm para laboratório e de 100 mm para indústria) formando baterias paralelas com qualquer capacidade; a reciclagem da água, recuperação de calor e de energia elétrica em turbinas hidráulicas permitem a circulação de grandes volumes de água (95%) em equipamentos grandes, porém não enormes; facilidade de bombeamento da lama com bombas de pares de pistões reversíveis (aberto no enchimento e fechado no bombeamento).

Tecnologias e variáveis operacionais podem ser alteradas para a otimização da produção de bio-óleo e melhoria de sua qualidade em processos de pirólise (Meier; Feix, 1999; Oasmaa; Czernik, 1999; Bridgwater; Peacocke, 2000; Yaman, 2004; Kersten et al., 2005; Huber et al., 2007; Hosoya et al., 2007) e para a produção de gás de síntese em processos de gaseificação (Cao et al., 2006; Wang et al., 2007). O bio-óleo produzido em processos de pirólise tem sido usado como combustível líquido em caldeiras e fornalhas e, algumas vezes, em motores diesel para a produção de calor ou eletricidade (Bridgwater; Peacocke, 2000; Chiaramonti et al., 2007). Entretanto, o bio-óleo é pouco estável, pois possui alto teor de oxigênio (40% a 50%), de água (15% a 30%) e alta acidez (Lappas et al., 2002; Gayubo et al., 2004; Chiaramonti et al., 2007; Corma et al., 2007). Tanto o bio-óleo quanto o gás de síntese são fontes potenciais para obtenção de combustíveis líquidos tais como o diesel, metanol e etanol por via síntese de Fischer-Tropsch, e produtos químicos renováveis no conceito de biorrefinaria. Existem várias instalações de pirólise e de gaseificação de biomassa em operação no Brasil e no mundo, a maioria ainda em escala piloto. A gaseificação com

ar gera um gás com baixo poder calorífico e com até 55% em volume de gás inerte, já com oxigênio ou com mistura de ar e vapor, uma mistura rica em H_2 e CO com alto poder calorífico pode ser obtida. Recentemente, a gaseificação com vapor d'água tem atraído grande interesse devido à produção de mistura gasosa com teor relativamente alto de H_2, tornando sua aplicação mais interessante em sistemas de cogeração, como turbinas à gás, microturbinas e, até mesmo, células combustível, que necessitam de um gás com um poder calorífico da ordem de 10.000 Btu/m^3 a 12.000 Btu/m^3. A gaseificação alotérmica, com vapor d'água, apresenta como principal vantagem a produção de gás com alto poder calorífico. Entretanto, o processo de gaseificação com vapor d'água é mais complexo, devido à necessidade de uma fonte externa de calor para propiciar a reação endotérmica, exigindo mais pesquisa e desenvolvimento. No caso da tecnologia de gaseificação, o projeto e a operação otimizada dos reatores e a remoção de contaminantes das correntes de gases produzidos (HCl, NH_3, N_2, CH_4 e outros hidrocarbonetos, aromáticos e fenólicos, dentre outros) são ainda gargalos tecnológicos a serem transpostos (Sánchez, 2010). Ramzan et al. (2011) apresentaram detalhes sobre modelagem e simulação do processo de gaseificação. As tecnologias de processo citadas ainda se encontram em desenvolvimento, em plantas piloto ou demonstrativas de pequeno porte, com perspectivas favoráveis de que se tornem viáveis no futuro próximo, em virtude da crescente demanda energética e da menor disponibilidade e do custo elevado de combustíveis fósseis.

- **Prospecção, mercado de carbono, impactos e gestão ambiental de florestas com finalidades energéticas** (2007-2011).
  Líder: Claudio Cesar de Almeida Buschinelli
- **Avaliação socioambiental e econômica da cadeia produtiva de florestas energéticas e a sua inserção na economia brasileira** (2011-2016).
  Líder: Flávio José Simioni

Foto: Claudio Cesar de Almeida Buschinelli

Figura 6. Plantio de eucalipto em Santa Cruz do Sul/RS com manejo para a produção de lenha.

O Brasil tem enorme potencial florestal, mas enfrenta dificuldades para delinear uma política para os segmentos da cadeia produtiva por obstáculos associados às questões ambientais (Serviço..., 2020). Em contrapartida, o setor conta com uma área significativa de florestas plantadas e com tecnologia de ponta para a sua produção e aproveitamento, mas não esperam grandes avanços em termos de incentivos e financiamento para este segmento em um futuro próximo, embora a área plantada com florestas continue crescendo devido à necessidade de abastecimento das indústrias de base florestal, nos próximos anos (Moreira; Oliveira, 2017).

Os diagnósticos iniciais da cadeia produtiva de madeira para energia foram realizados nos trabalhos de Fontes (2005) e de Simioni e Hoeflich (2007). Fontes (2005) utilizou a metodologia do "Programa Sebrae: Cadeias Produtivas Agroindustriais" para a realização do estudo, e concluiu que o segmento de produção de madeira para energia encontrava-se precário e impossibilitado de atender a um aumento da demanda por lenha e carvão, no curto ou médio prazo. Simioni e Hoeflich (2007), em sua análise diagnóstica e prospectiva da cadeia produtiva de energia de biomassa de origem florestal na região do planalto sul de Santa Catarina, detectaram que a cadeia agroindustrial (CAI) da madeira era composta de cinco cadeias produtivas: madeira sólida, painéis, móveis, papel e energia, e que a cadeia produtiva da madeira para energia apresentava uma estreita relação com as demais cadeias produtivas do CAI, devido à utilização do resíduo das demais cadeias produtivas para a geração de energia.

Para se estudar a cadeia produtiva da madeira de eucalipto para energia, deve-se observar a produção florestal como um todo, as suas inter-relações setoriais e espaciais, para então delinear melhor os componentes da cadeia e as suas relações (Produção..., 2016). Isto é necessário devido a madeira de eucalipto ser utilizada para diversas finalidades, inclusive energia, e a demanda por madeira para energia ser atendida por resíduos da indústria florestal, extração de florestas nativas ou plantios florestais com outros gêneros que não o *Eucalyptus*.

A análise econômica de empreendimentos, neste caso os florestais com finalidades energéticas, é de fundamental importância para a correta escolha dos empreendedores na melhor alocação dos seus recursos, seja para se iniciar ou continuar na atividade, constituindo-se em um dos elos fundamentais da cadeia produtiva (Produção...., 2016).

Os indicadores mais utilizados para análise econômica e financeira de empreendimentos florestais são o Valor Presente Líquido (VPL), Valor Esperado da Terra (VET), Benefício Periódico Equivalente (BPE) ou Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA) ou Valor Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (BC) e Custo Financeiro de Produção (CFP). Para que seja possível uma análise da viabilidade econômica dos principais sistemas de produção de florestas com fins energéticos, são necessários a obtenção dos coeficientes técnicos e dos custos de produção (plantio, manutenção, colheita), bem como o comportamento de

crescimento e produção da espécie, e os preços dos produtos gerados (Produção...., 2016).

A matriz insumo-produto apresenta um ferramental que permite analisar a importância de determinado setor e a sua interdependência dos demais no conjunto da economia. Além da análise estrutural do setor, o ferramental analítico também permite a avaliação de aplicações de políticas setoriais, apontando possíveis consequências no setor e no conjunto da economia.

Benefícios potenciais dos resultados advindos do Projeto para a sociedade

As maiores contribuições à sociedade foram o desenvolvimento e disponibilização de tecnologias, publicações de artigos técnicos e científicos; realizações de seminários e *workshops*; orientações de dissertações e teses; treinamento de estudantes de graduação e pós-graduação; apresentação de palestras e outros. No campo tecnológico destacam-se:

Em termos de matéria-prima, o principal benefício foi a ampliação na oferta de genótipos florestais com aptidão energética, adaptados para as diversas regiões brasileiras, para plantios em sistemas de produção puros e integrados. No aspecto das técnicas silviculturais, destacam-se os resultados relacionados aos protocolos silviculturais naquelas regiões com maior carência em informações e tecnologias florestais; aos sistemas de integração (ILPF), representados pela definição de Práticas/Processos Agropecuários, para a definição dos arranjos e manejo do componente florestal, principalmente nos sistemas silvipastoris que apresentaram possibilidade de incremento da renda com maior eficiência que a pecuária extensiva tradicional da região, oferecendo maiores oportunidades para se obter sustentabilidade socioeconômica.

Para as tecnologias inovadoras de conversão de biomassa destacam-se: o desenvolvimento de um processo alternativo de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica, uma das etapas de maior desafio tecnológico para a obtenção de etanol lignocelulósico; um processo alternativo para aproveitamento de lodos primários gerados nas empresas de reciclagem de papel, por meio da produção de etanol celulósico; desenvolvimento de metodologia para a determinação de etanol por meio de NIR, possível de ser adaptada por outros usuários; avanços importantes nos conhecimentos relacionados aos temas de produção de etanol celulósico, hidrogênio, gás de síntese e bio-óleo.

Entre as tecnologias geradas para lenha e carvão vegetal destacam-se nas questões tecnológicas: desenvolvimento de fornos de carbonização da madeira com queimador de fumaça para pequenos produtores de carvão; metodologia para identificação da origem do carvão vegetal, que poderá vir a ser um instrumento bastante útil nas ações

de fiscalização; aperfeiçoamento e inovação para a compactação de resíduos florestais e madeireiros, visando maior adensamento energético; identificação da qualidade da madeira e seu efeito na qualidade do carvão vegetal produzido por espécies florestais nativas e de eucaliptos. Para as questões ambientais o projeto contribuiu com tecnologias para a minimização da emissão de gases do efeito estufa, adensamento da madeira para aumentar a densidade energética, entre outros.

No âmbito social o Projeto dirigiu atenção especial ao uso tradicional da madeira nas aplicações domésticas e de pequenos empreendimentos, contribuindo para o fortalecimento do uso sustentável deste recurso que, em muitos locais, é a única fonte energética disponível para a produção de carvão vegetal, cocção de alimentos e aquecimento domiciliar.

Os benefícios gerados, obtidos com os estudos realizados no campo social, econômico e ambiental permitem entender o papel dos insumos energéticos de base florestal no contexto da dinâmica econômica do País, sua importância nas limitações de crescimento da economia brasileira, assim como a dependência de alguns setores econômicos. Com isso, a melhoria da produção na propriedade rural representa um ponto importante na busca da sustentabilidade, tanto pela garantia na qualidade dos produtos, quanto pela menor degradação de recursos naturais.

Visão de futuro e desdobramentos do Projeto

O Projeto em rede "Florestas Energéticas" trouxe uma série de benefícios e oportunidades que tiveram como principal desdobramento a oportunidade de consolidar, por meio da liderança da Embrapa, uma rede multi-institucional e multidisciplinar de pesquisadores, nas quatro regiões brasileiras. Essa equipe, capacitada a desenvolver tecnologias e envolvida em participações de eventos técnico-científicos, comissões públicas e privadas, ações de transferência de tecnologias, contatos com empresas, produtores e assistência técnica, identificou novas demandas de pesquisa que vão além da mera transformação da biomassa florestal em produtos energéticos.

A visão é a ampliação dos estudos de produção de biomassa florestal e sua conversão visando não apenas o uso energético, mas também a geração de produtos químicos e materiais, em um conceito de Biorrefinaria Florestal.

Com base nessa nova visão de cenário e na percepção da equipe, destacam-se, de forma resumida, as seguintes necessidades de pesquisas futuras:

Na produção de biomassa, as pesquisas devem avançar na seleção de espécies florestais e nos ajustes de protocolos silviculturais, tanto para as espécies nativas como exóticas, mais plásticas e adaptadas para usos não apenas energéticos, mas usos múltiplos, que possam ser plantadas tanto em sistemas puros como integrados; avançar na utilização de solos marginais. Além disso, é necessário estabelecer, formar

e manejar áreas de produção de sementes de diversas espécies florestais potenciais para usos em biorrefinarias, em regiões estratégicas do Brasil.

Para os processos de transformação deve-se priorizar estudos de aproveitamento de subprodutos da carbonização da madeira, principalmente no desenvolvimento de novas vertentes para os pirolenhosos e no aproveitamento dos gases da carbonização; desenvolver técnicas para a secagem de madeira; avançar no desenvolvimento de fogões residenciais para cocção de alimentos; definir parâmetros para padronizar o carvão vegetal produzido no Brasil; desenvolver redes neurais artificiais em tecnologia da madeira e avançar nos estudos de produção de *pellets* para uso em pequenas e médias indústrias cerâmicas; desenvolver e avaliar novas rotas tecnológicas para a produção de compostos químicos e materiais com alto valor agregado, a fim de aumentar a sustentabilidade e competitividade das indústrias de papel e celulose e afins; obtenção e, ou conversão de açúcares em produtos como: polióis, ácidos orgânicos e oligossacarídeos; proposição de novas alternativas de aproveitamento para resíduos da indústria de papel e celulose; e elaboração de diferentes materiais para construção civil, entre outras.

Estimulada com isso, a Embrapa Florestas iniciou a elaboração de um novo projeto para explorar todo o potencial de uso da biomassa florestal em um contexto mais amplo, o de Biorrefinaria Florestal, sustentado em quatro desafios tecnológicos: matéria-prima, energia, materiais e produtos químicos. Esse novo foco é baseado em um cenário mais sustentável tecnologicamente e com maiores possibilidades de mercado.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 12 p.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília, DF, 2011. 130 p.

ALMEIDA, G.; BRITO, J. O.; PERRÉ, P. Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on microsamples of three Eucalyptus species. **Holzforschung**, v. 63, p. 80-88, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1515/HF.2009.026.

ALVIRA. P.; TOMÁS-PEJÓ. E.; BALLESTEROS, M.; NEGRO, M. J. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: a review. **Bioresour Technology**, v. 101, n. 13, p. 4851–4861, 2010. DOI: https://10.1016/j.biortech.2009.11.093.

ANTAL, M. J.; ALLEN, S. G.; DAI, X.; SHIMIZU, B.; TAM, M. S.; GRONLI, M. Attainment of the theoretical yield of carbon from biomass. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 39, p. 4024-4031, 2000. DOI: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie000511u.

AVANÇOS tecnológicos ligados à lenha e ao carvão vegetal [Brasília, DF: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz], 2016a. Projeto componente macroprogama 1. Líder do projeto: Jose Otavio Brito.

AVANÇOS tecnológicos na produção de bio-óleo, gás de síntese, hidrogênio e etanol a partir de biomassa florestal. [Brasília, DF: Embrapa Agroenergia], 2016b. Projeto componente macroprogama 1. Líder do projeto: Mônica Caramez Triches Damaso.

BERGMAN, P.; BOERSMA, A.; KIEL, J.; PRINS, M. J.; PTASINSKI, K.; JANSSEN, F. J. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. In: WORLD CONFERENCE AND TECHNOLOGY EXHIBITION ON BIOMASS FOR ENERGY, INDUSTRY AND CLIMATE PROTECTION. 2., Rome, 2005. **Proceedings** [...]. Rome: ETA, 2005. p. 78–82.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 2011**: ano base 2010: resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 2019**: relatório síntese: ano base 2018. Rio de Janeiro, 2019. 67 p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Cenários de demanda para o PNE 2050**. Rio de Janeiro, 2018. 34 p.

BRIDGWATER, A. V.; PEACOCKE, G. V. C. Fast pyrolysis processes for biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41–73, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00007-6.

BRITO, J. O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993. Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: SBS/ SBEF, 1993. p. 774.

CAO, Y.; WANG, Y.; RILEY, J. T.; PAN, W-P. A novel biomass air gasification process for producing tar-free higher heating value fuel gas. **Fuel Processing Technology**, v. 87, p. 343-353, 2006. DOI: https://10.1016/j.fuproc.2005.10.003.

CARDOSO, M. T.; OLIVEIRA, A. C.; BARCELOS, D. C.; VITAL, B. R.; JACOVINE, L. A.; DAMASIO, R. Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução de poluentes. **Cerne**, v. 16, p. 115-124, 2010.

CARVALHO, M. M. **Arborização de pastagens cultivadas**. Juiz de Fora: Embrapa CNPGL, 1998. 37 p. (Embrapa CNPGL. Documento, 64).

CHIARAMONTI, D.; OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, p. 1056-1086, 2007. DOI: https://10.1016/j.rser.2005.07.008.

CORMA, A.; HUBER, G. W.; SAUVANAUD, L.; CONNOR, P. O. Processing biomass-derived oxygenates in the oil refinery: catalytic cracking (FCC) reaction pathways and role of catalyst. **Journal of Catalysis**, v. 247, n. 2, p. 307-327, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcat.2007.01.023.

CRÉDITO de carbono: MDL. **BiodieselBR**, 6 mar. 2012. Disponível em: https://www.biodieselbr.com/credito-de-carbono/mdl/credito-carbono. Acesso em: 1 maio 2020.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; RIBASKI, J. **Eucalipto no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. 42 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 276; Embrapa Florestas. Documentos, 297). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151702/1/SDC276.pdf.

FONTES, A. A. **A cadeia produtiva da madeira para energia**. 2005. 134 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GAYUBO, A. G.; AGUAYO, A. T.; ATUTXA, A.; AGUADO, R.; BILBAO, J. Transformation of oxygenate components of biomass pyrolysis oil on a HZSM-5 zeolite. I. Alcohols and phenols. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 43, n. 11, p. 2610-2618, 2004. DOI: https://doi.org/10.1021/ie030791o.

GERMOPLASMAS para Expansão da Base Florestal Energética. [Brasília, DF: Embrapa Florestas], 2016. Projeto componente macroprogama 1. Líder do projeto: Paulo Eduardo Telles dos Santos.

GIRALDO, J. F. O. **Efecto de la cobertura arbórea sobre la ganancia de peso y el desempeño reproductivo de vacas brahman en trópico bajo**. 2014. 157 f. Tesis (Magister em Ciencias Animales) - Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

HAMELINCK, C.; HOOIJDONK, G.; FAAIJ, A. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, p. 384-410, 2005. DOI: https://10.1016/j.biombioe.2004.09.002.

HOSOYA, T.; KAWAMOTO, H.; SAKA, S. Pyrolysis behaviors of wood and its constituent polymers at gasification temperature. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 78, p. 328–336, 2007. DOI: https://10.1016/j.jaap.2006.08.008.

HUBER, G. W.; O'CONNOR, P.; CORMA, A. Processing biomass in conventional oil refineries: production of high quality diesel by hydrotreating vegetable oils in heavy vacuum oil mixtures, **Applied Catalysis A: General**, v. 329, p. 120–12, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.07.002.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2019**. Brasília, DF, 2019. 80 p. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 25 maio 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/. Acesso em: 1 jun. 2020.

IMPACTOS econômicos e ambientais do Plano ABC: relatório completo. [São Paulo]: Fundação Getúlio Vargas, Escola de Economia de São Paulo, 2017. Projeto Observatório ABC.

JARDINE, J. G.; DISPATO, I.; PERES, M. R. **Considerações sobre biodiesel como biocombustível alternativo ao diesel**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. 25 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 93). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17275/1/doc93-1.pdf.

JOSEPH, L.; SCHMITT FILHO, A.; SINISGALLI, P.; FARLEY, J.; ZAMBIAZ, D. Sistemas silvipastoris e serviços ecossistêmicos: a visão dos produtores de leite do Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, 2019. DOI: https:// 10.19084/rca.17116.

KERSTEN, S. R. A.; WANG, X.; PRINS, W.; VAN SWAAIJ, W. P. M. Biomass pyrolysis in a fluidized bed reactor. Part 1. Literature review and model simulations. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 44, n. 23, p. 8773–8785, 2005.

LAPPAS, A. A.; SAMOLADA, M. C.; IATRIDIS, D. K.; VOUTETAKIS, S. S.; VASALOS, I. A. Biomass pyrolysis in a circulating fluid bed reactor for the production of fuels and chemicals. **Fuel**, v. 81, n. 16, p. 2087-2095, 2002. DOI: https://10.1016/S0016-2361(02)00195-3.

MEIER, D.; FAIX, O. State of the art of applied fast pyrolysis of lignocellulosic materials: a review. **Bioresource Technology**, v. 68, p. 71–77, 1999. DOI: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00086-8.

MESA PÉREZ, J. M. **Testes em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado**: critérios para sua otimização. 2004. 189 f. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiência) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MODERNIZAÇÃO da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano de Siderurgia. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015.

MORA, A. L.; GARCIA, C. E. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. de. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (ed.). **Plantações florestais**: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Cap. 1. p. 11-20.

MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y. Y.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 673-686, 2005. DOI: https:// dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025.

NICODEMO, M. L. F.; GARCIA, A. R.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; PACIULLO, D. S. C. **Desempenho, saúde e conforto animal em sistemas silvipastoris no Brasil**. São Carlos, SP: Embrapa, 2018. 44 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 129).

NICOLI, C. M. L.; PACHECO, A. R.; REIS, C. F.; VENTUROLI, F. Income diversification through a crop-livestock-forest integration system in the Midwest Brazilian Region. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 7, p. 374-385, 2017. DOI: 10.17265/2161-6264/2017.06.002.

OASMAA, A.; CZERNIK, S. Fuel oil quality of biomass pyrolysis oils: state of the art for the end user. **Energy Fuels**, v. 13, n. 4, p. 914–921, 1999.

OLIVEIRA, A. C. **Produção sustentável de carvão vegetal**. Viçosa, MG, 2013. v. 1. 39 p.

OLIVEIRA, D. de.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVEIRA, V. P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril com eucalipto implantado em região de Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 1-19. 2000. DOI: https://doi.org/10.5902/19805098392.

OLOFSSON, K.; BERTILSSON, M.; LIDÉN, G. A short review on SSF-an interesting process option for ethanolproduction from lignocellulosic feedstocks. **Biotechnology for Biofuels**, p. 1- 14, 2008. DOI: https://10.1186/1754-6834-1-7.

OS PAÍSES que mais emitiram gases de efeito estufa nos últimos 165 anos. São Paulo: WRI Brasil, 2019. Disponível em: https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/04/ranking-paises-que-mais-emitem-carbono-gases-de-efeito-estufa-aquecimento-global. Acesso em: 6 jul. 2020.

PASSOS, C. A. M.; FERNANDES, E. N.; COUTO, L. Plantio consorciado de *Eucalyptus grandis* com milho no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1991, Curitiba. **Anais** [...]. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1992. v. 1.
p. 409-421.

PINCELLI, A. L. P. S.; BRITO, J. O.; CORRENTE, J. E. Avaliação da termorretificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. Hondurensis. **Scientia Forestalis**, v. 61, p. 122–132, 2002.

PRODUÇÃO e conversão sustentável de biomassa em energia. [Brasília, DF: Embrapa Florestas], 2016. Projeto macroprogama 1. Líder do projeto: Antonio Francisco Jurado Bellote.

QUIRINO, W. F. Compactação de resíduos para use energético. In: CICLO DE SEMINÁRIOS "SITUAÇÃO DA LENHA NO BRASIL", 1987, Rio de Janeiro. [**Anais** [...].]. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 1987. 16 p.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 53, 2012.

RAMZAN, N.; ASHRAF, A.; NAVEED, S.; MALIK, A. Simulation of hybrid biomass gasification using Aspen plus: a comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 3962-3969, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.005.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; PAULA, L. E. de R. e; FARIA, A. L. R. Secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. **Cerne**, v. 16, p. 41-47, 2010.

REZENDEZ, M. E. Tecnologia mineira transforma fumaça em fertilizantes e alimentos. **Revista Fapemig**, 2002.

RIBASKI, J. **Avaliação do desempenho silvicultural e econômico de cinco materiais genéticos de *Eucalyptus* em sistema silvipastoril, no bioma Pampa do Rio Grande do Sul**. Colombo: Embrapa Florestas, 2019. 21 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 434).

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J. Sistemas silvipastoris desenvolvidos na Região Sul do Brasil: a experiência da Embrapa Florestas. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (ed.) **Sistemas agroflorestais pecuários**: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO. 2001. p. 205-233.

RIBASKI, J.; RADOMSKI, M. I.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Sistemas silvipastoris em propriedades rurais no Noroeste do Estado do Paraná. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (ed.). **ILPF**: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 705-714.

RIBASKI, J.; RAKOCEVIC, M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Avaliação de um sistema silvipastoril com eucalipto (*Corymbia citriodora*) e braquiária (*Brachiaria brizantha*) no noroeste do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.

RIBASKI, S. A. G.; HOEFLICH, V. A.; RIBASKI. J. Sistemas silvipastoris como apoio ao desenvolvimento rural para a região Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 60, p. 27-37, 2009.

SÁNCHEZ, C. G. (org.) **Tecnologia da gaseificação da biomassa**. Campinas: Átomo, 2010.

SCHERER, W. G. S. **Levantamento dos níveis de produção de aço e ferro-gusa, cenário em 2020**: ênfase: uso da energia gerada na combustão dos gases da carbonização. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014. 33 p.

SEIXAS, F.; BAUCH, S. C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. D. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 67, p. 37-43, 2005.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO: cadeia produtiva. [Brasília, DF: Sistema Nacional de Informações Florestais.], 2020. Disponível em: http://snif.florestal.gov.br/pt-br/cadeia-produtiva. Acesso em: 4 jun. 2020.

SILVA, V. P. da; BAGGIO, A. J.; RIBASKI, J.; VARELLA, A. C.; PACIULLO, D. S. C.; NICODEMO, M. L. F. Los sistemas silvopastoriles en las regiones subtropicales del Brasil: las actividades de la Embrapa. In: CONGRESO NACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, 1., 2009, Posadas. **Actas** [...]. Buenos Aires: INTA, 2009. p. 59-65.

SIMIONI, F.J.; HOEFLICH, V. A. **Análise diagnóstica e prospectiva da cadeia produtiva de energia de biomassa de origem florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 125 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 151). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/313015.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review, **Bioresource Technology**, v. 83, p. 1-11, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Enzymatic-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. **BioResources**, v. 2, n. 4, p. 707-738, 2007.

TECNOLOGIAS silviculturais para produção de florestas energéticas: TSPFenergia [Brasília, DF: Embrapa Florestas], 2016. Projeto componente macroprogama 1. Líder do projeto: Jorge Ribaski.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M. da; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. de B. Rendimentos e características do carvão vegetal em unção da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

U. S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Data**: primary energy. Washington, DC, [2020]. Disponível em: https://www.eia.gov/international/data/world/total-energy/total-energy-production?pd=44&p=00400000000000000000 0000000000000000000000000000000000000f&u=0&f=A&v=mapbubble&a=-&i=none&vo=value&t=C&g=00000000000000000000000000000000000000000000000001&l=249-ruvvvvvfvtvnvv1vrvvvvfvvvvvvfvvvou20evvvvvvvvvvvvvvvs&s=315532800000&e=1483228800000&. Acesso em: 19 maio 2020.

VARELLA, A. C.; BARRO, R. S.; SILVA, J. L. S. da; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; SAIBRO, J. C. de. Silvopastoral systems in the cold zone of Brazil. In: PERI, P. L.; DUBE, F.; VARELLA, A. (ed.). **Silvopastoral systems in Southern South America**. [Cham]: Springer International Publishing Switzerland, 2016. p. 231-255. (Advances in agroforestry, 11).

VARELLA, A. C.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; RIBASKI, J.; SOARES, A. B.; MORAES, A.; MORAIS, H.; SAIBRO, J. C. de; BARRO, R. S. Estabelecimento de plantas forrageiras em sistemas de integração floresta-pecuária no Sul do Brasil. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. (ed.). **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 283-303.

WANG, Y.; YOSHIKAWA, K.; NAMIOKA, T.; HASHIMOTO, Y. Performance optimization of two-staged gasification system for woody biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 88, p. 243–250, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.10.002.

YAMAN, S. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. **Energy Conversion** and **Management**, v. 45, p. 651–671, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00177-8.

YANG, C. E.; WYMAN, C. E. Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 2, n. 1, p. 26-40, 2008. DOI: https://doi.org/10.1002/bbb.49.

27

Bioeste Florestas: Parceria voltada ao desenvolvimento de tecnologias para os segmentos de florestas energéticas e de integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF), no oeste do Paraná

João Bosco Vasconcellos Gomes

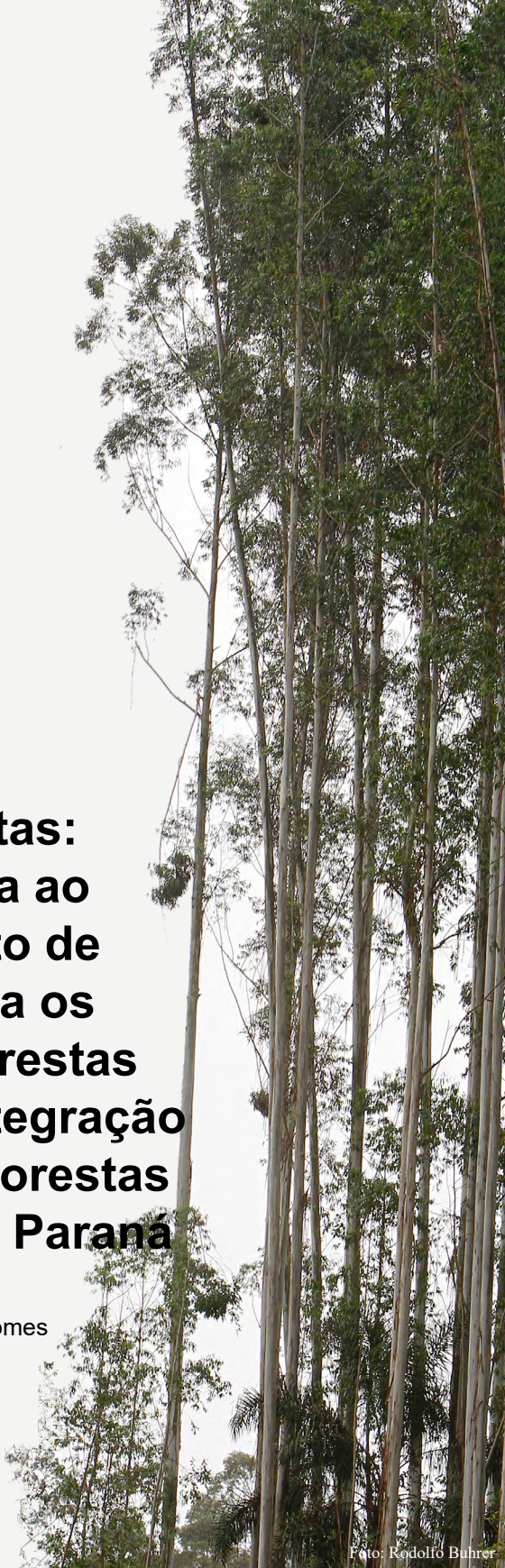


Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

A região oeste do Paraná apresenta grande volume de produção de grãos, uma resultante da associação entre terras de bom potencial de uso agrícola e sistemas de manejo com elevado desenvolvimento tecnológico. As terras de maior potencial da região estão, em grande parte, concentradas nos 28 municípios formadores da Bacia do Paraná 3 (BP3) mais o município de Palotina, que ocupam uma área de 14,7 mil km², sendo que o perímetro desses 29 municípios define a área de atuação dos estudos espaciais do Projeto Bioeste Florestas. A importância estratégica da região oeste do Paraná na produção de grãos advém da sua importância à cadeia de produção de proteína animal e gera uma grande utilização de biomassa florestal na secagem de grãos, nas caldeiras das agroindústrias, no aquecimento de aviários e em outras atividades do agronegócio que necessitam de energia térmica, principalmente nas estruturas das cooperativas e das agroindústrias (Relatório..., 2014, 2016).

Essa grande demanda por madeira contrasta com a baixa tradição da região em sistemas silviculturais, principalmente comparada com outras regiões do Estado e da região Sul como um todo, de grande tradição em florestas plantadas. A atual área plantada de eucalipto nos municípios formadores da BP3 e Palotina é de aproximadamente 8.000 ha (estimativa baseada em dados não publicados do Centro Internacional de Hidroinformática e em Eisfield e Nascimento, 2015). Considerando as diferentes fontes de consumo de biomassa florestal nesse mesmo perímetro, a estimativa de déficit de área de plantio de eucalipto (a partir de estudo de oferta e demanda ainda em construção pelo Projeto Bioeste Florestas) é estimada em mais de 10.000 ha. Dessa forma, pode-se observar como a região carece de um planejamento estratégico da cadeia produtiva de biomassa, com forte dependência da produção de outras regiões para a aquisição deste biocombustível, estratégico para o setor agroindustrial.

Outro aspecto relevante tem origem na conversão da produção de grãos em proteína animal, principalmente pela suinocultura, atividade que gera grande quantidade de dejetos líquidos e cujo destino é um problema real na região, pelo seu forte poder de contaminação fluvial. Tal contaminação pode facilitar a proliferação de algas e, em escala muito elevada, prejudicar a eficiência da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. Neste contexto, a aplicação controlada dos dejetos como insumo nos povoamentos comerciais de eucalipto atua em diferentes frentes: melhora a sustentabilidade da atividade, repondo nutrientes do solo exportados pela colheita da madeira; apresenta baixo custo de frete, desde que utilizado em plantios florestais próximos às fontes do dejeto; e representa uma destinação de baixo risco ambiental.

Para trabalhar essas questões, o Projeto Bioeste Florestas foi concebido por meio da parceria realizada entre Itaipu Binacional, CIBiogás e Embrapa Florestas, posteriormente recebendo a adesão da C.Vale e do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR) como parceiros estratégicos à sua execução, contando também com

a participação de outros parceiros locais, principalmente de cooperativas e agroindústrias. O projeto está focado na importância de fomentar a produção de florestas energéticas não só para os municípios da BP3, mas também para o restante da região oeste do Paraná. O objetivo geral do projeto é gerar competitividade das cadeias produtivas das espécies florestais introduzidas (eucaliptos) no oeste do Paraná, por meio do teste, validação e integração de tecnologias, com o intuito de garantir a oferta de biomassa florestal necessária às demandas regionais de energia térmica.

Este capítulo descreve as ações em andamento do Projeto Bioeste Florestas, após aproximadamente dois anos e meio do início de sua execução, apresentando resultados de avaliações da produtividade de eucalipto de plantios comerciais e de experimentos implantados em fase pré-projeto e as perspectivas para os próximos anos do projeto.

Ações de modelagem do potencial silvicultural das terras do oeste do Paraná

As várias metas que trabalham com informações espaciais têm, como perímetro de seus estudos, o conjunto das terras dos municípios da BP3 mais Palotina (Figura 1). Os produtos a serem gerados visam o planejamento regional da atividade. Para isso, são disponibilizadas informações de aptidão das terras para o plantio de eucalipto (a partir de informações de solos, clima e dos sistemas de produção de interesse) e desenvolvidos módulos específicos de software de produtividade florestal para a região.

Do ponto de vista do meio físico, o projeto trabalha gerando informações espaciais de clima e solos para a atividade silvicultural. O mapa de solos da região foi atualizado (Bognola et al., 2018), com um forte investimento na determinação da retenção de água das principais classes de solos de ocorrência. As informações de clima, já finalizadas, envolveram as 'Cartas Climáticas dos Municípios da Bacia do Paraná 3', com a elaboração de planos de informações climáticas (Wrege et al., 2018a); do balanço hídrico para o eucalipto, na escala temporal decendial, incluindo o risco de déficit hídrico (exemplo na Figura 2); e o Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos para *Eucalyptus grandis*, *E. benthamii* e o híbrido ¨urograndis¨ (*E. urophylla* x *E. grandis*) (Wrege et al., 2018b).

O mapa de "Aptidão das terras para o cultivo do eucalipto nos municípios da BP3 e Palotina" foi finalizado e está disponível na plataforma Geoinfo da Embrapa (Figura 3). Para a sua execução foram utilizadas as informações espaciais de clima e solos geradas pelo próprio projeto, além da definição do sistema de produção de eucalipto, considerando um nível tecnológico empresarial regional.

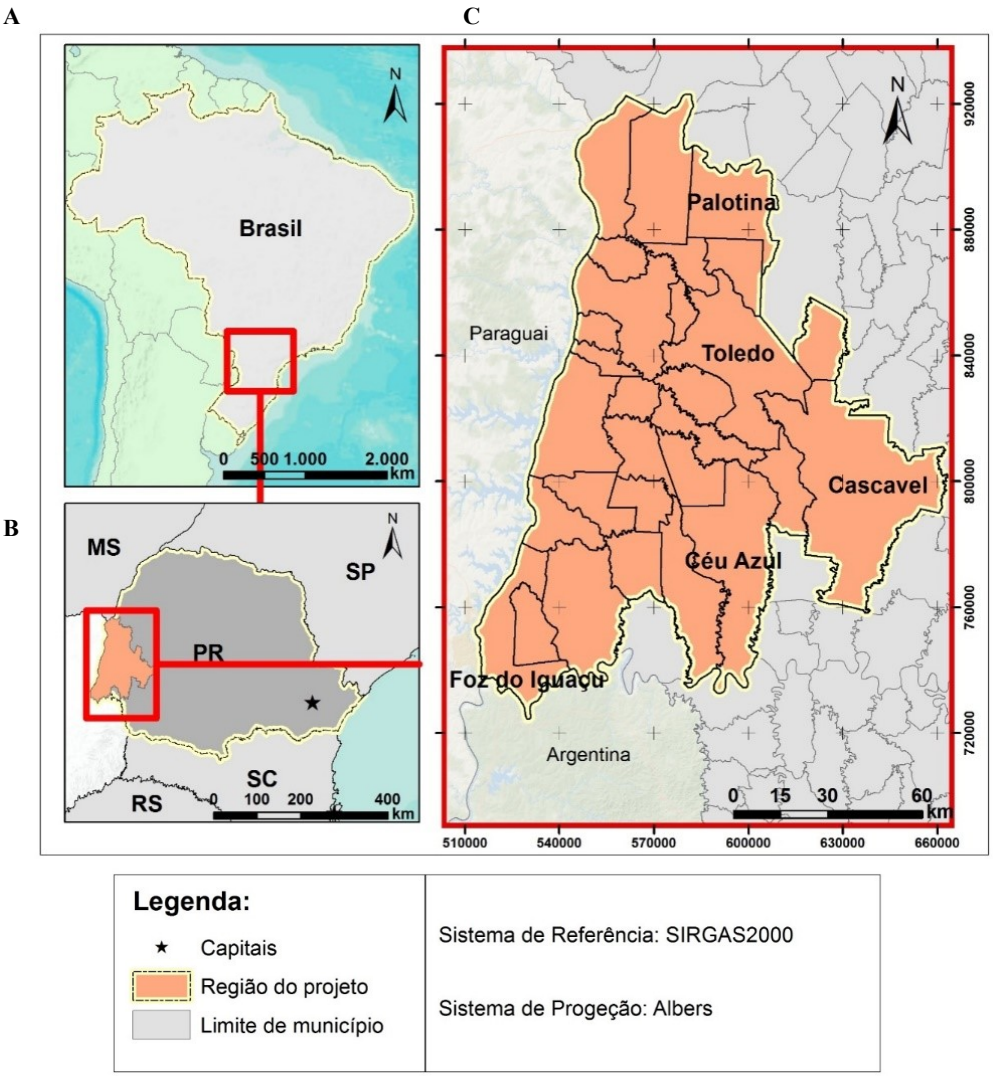


Figura 1. Localização do estado do Paraná no Brasil (A) e da área de estudo (BP3 mais o município de Palotina) no estado do Paraná (B) e mapa da área de estudo com coordenadas e municípios vizinhos (C).

Fonte: Bognola et al. (2018).

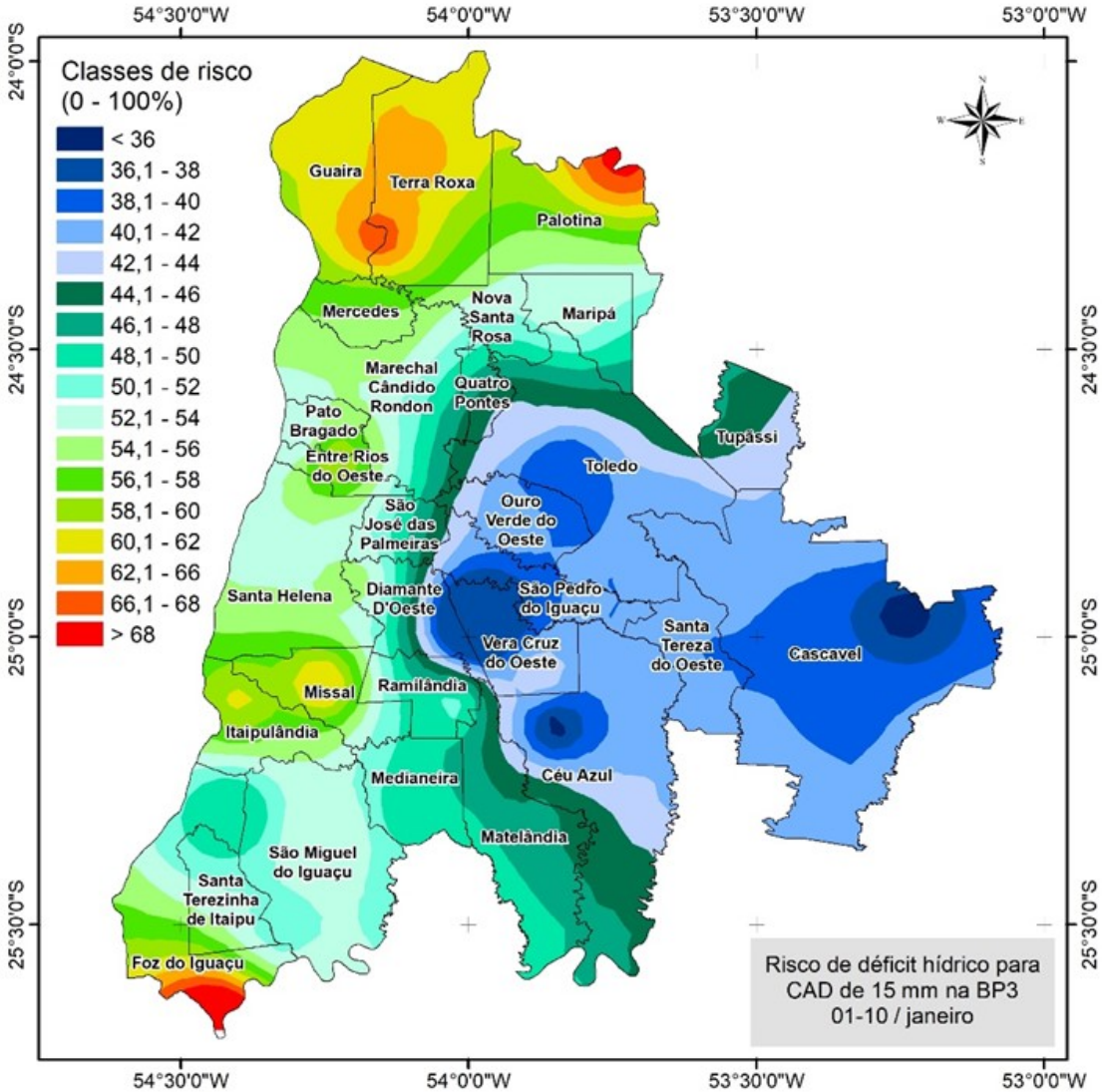


Figura 2. Risco de déficit hídrico na Bacia do Paraná 3 - primeiro decêndio de janeiro, considerando capacidade de armazenamento de água no solo constante de 15 mm.

Fonte: Wrege et al. (2018a).

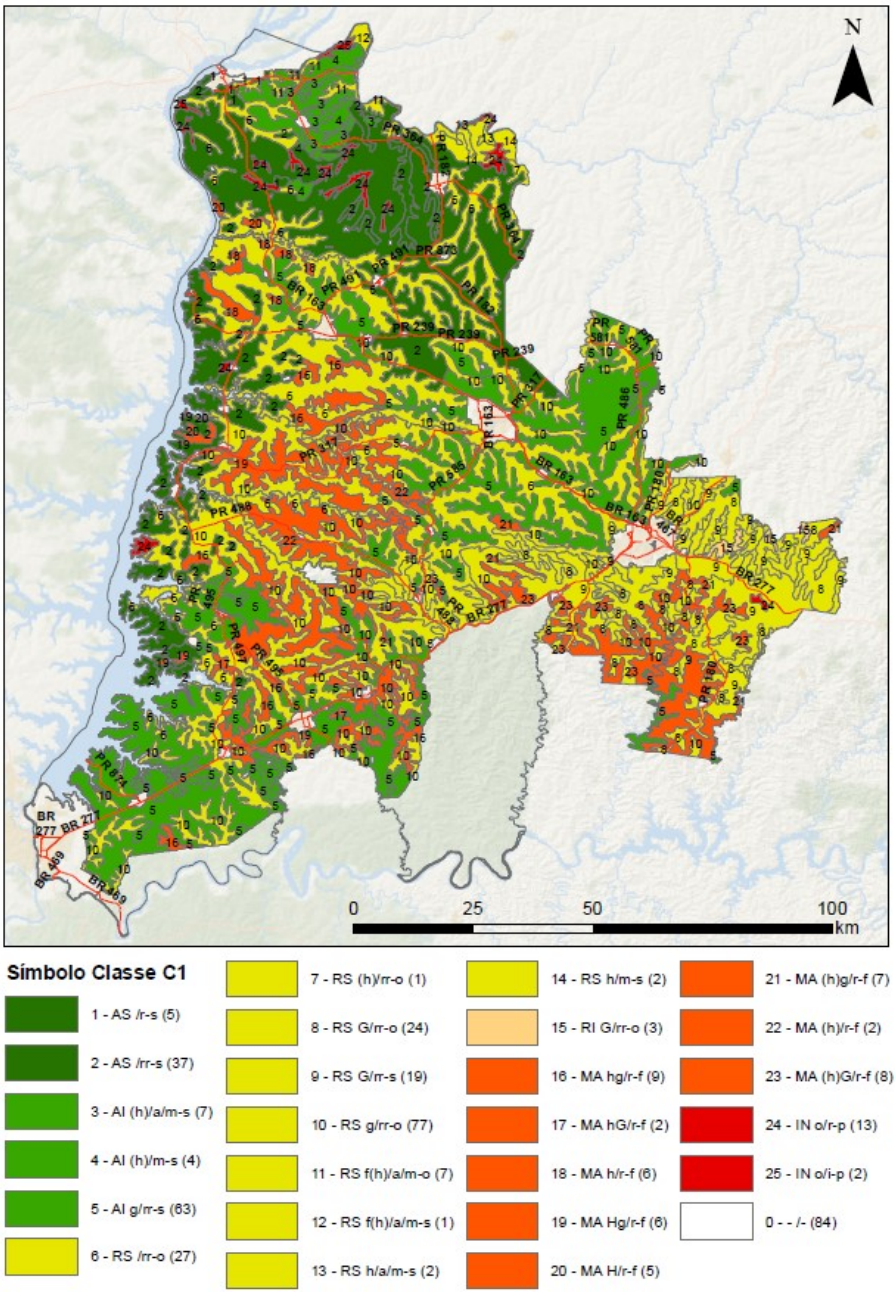


Figura 3. Mapa preliminar da aptidão das terras para o cultivo do eucalipto nos municípios da BP3 e Palotina.

Fonte: Holler et al. (2019).

Também estão em execução estudos de uma área piloto na bacia do Arroio Fundo, município de Marechal Cândido Rondon. O mapa detalhado de solos (escala 1:10.000) está em fase de publicação e o mapa de unidades de manejo florestal para o cultivo do eucalipto da mesma área está em execução. Essa metodologia de definição de unidades de manejo florestal para o cultivo do eucalipto servirá de base para outros estudos que necessitem de mapeamentos de solos detalhados na região.

Ações de desenvolvimento de tecnologias (ensaios e unidades de referência) para sistemas de produção de eucalipto em terras do oeste do Paraná

Para testar e validar tecnologias de florestas energéticas na região, ensaios de crescimento de eucaliptos foram instalados em propriedades de parceiros locais, nas seguintes linhas de pesquisa: materiais genéticos, espaçamento de plantio, adubação mineral com P e K, uso de dejetos de animais e sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (ILPF) com eucaliptos.

Além dos ensaios que já cumprem a função de unidades de referência tecnológica, outros talhões de produção de eucalipto também estão sendo avaliados em áreas de produtores parceiros locais, sejam de povoamentos puros ou de ILPF. Todas essas unidades, com informações do sistema de produção utilizado, caracterização de solos e clima locais e avaliações de crescimento, estarão alimentando a rede de referência do projeto. Essa rede de referência garante avanços na modelagem da produtividade do eucalipto na região e atua também nas ações de transferência de tecnologia do projeto.

Foram instalados onze ensaios e estabelecidas, até o momento, 21 unidades de referência, como especificados nas Tabelas 1 e 2. O ensaio mais antigo completou três anos de idade em junho de 2020. As unidades de referência de monocultivos florestais estão, em sua maioria, próximas à idade do corte raso, considerando o ciclo para fins de uso energético do eucalipto. As unidades de ILPF (silvipastoril) apresentam idades de plantio entre um e mais de dez anos. As Figuras 4 a 8 ilustram diferentes momentos dessas ações, que também já possuem alguns resultados preliminares publicados (Soares et al., 2018, 2019; Maeda et al., 2019; Vedovato et al., 2019).

Tabela 1. Rede de ensaios do Projeto Bioeste Florestas implantados na região oeste do Paraná.

Ensaio	Município	Data de implantação
Influência do espaçamento e do manejo do desbaste no crescimento do eucalipto – solos sob maior influência de basalto	Assis Chateaubriand	1-jun-17
Influência do espaçamento e do manejo do desbaste no crescimento do eucalipto – solos sob maior influência de arenito	Terra Roxa	16-mai-18
Influência da adubação com dejetos líquidos suínos no crescimento do eucalipto – solos sob maior influência de basalto	Assis Chateaubriand	15-nov-17
Influência da adubação com dejetos líquidos suínos no crescimento do eucalipto – solos sob maior influência de arenito	Terra Roxa	18-mai-18
Influência da adubação química com N e K no crescimento do eucalipto – solos sob maior influência de basalto	Assis Chateaubriand	14-nov-17
Influência da adubação química com N e K no crescimento do eucalipto – solos sob maior influência de arenito	Terra Roxa	16-mai-18
Teste de materiais genéticos de eucalipto – solos sob maior influência de arenito	Terra Roxa	22-mai-18
Teste de materiais genéticos de eucalipto – solos sob maior influência de basalto	Palotina	8-ago-18
Influência da adubação química e orgânica no crescimento do eucalipto em solo desenvolvido sob arenito	Iporã	1-dez-18
Avaliação do crescimento e produção do eucalipto em sistema de ILPF	Missal	1-dez-18
Avaliação do crescimento e produção do eucalipto em sistema de ILPF	Terra Roxa	1-dez-18

Tabela 2. Unidades de referência do Projeto Bioeste Florestas implantadas na região oeste do Paraná.

Unidade de referência tecnológica	Município	Quantidade unidades
Doses de adubação química de P e K em eucalipto	Assis Chateaubriand	1
Manejo de desbaste e espaçamentos em eucalipto	Assis Chateaubriand	1
Doses de dejeto líquido de suínos em eucalipto	Assis Chateaubriand	1
Influência da adubação química e orgânica no crescimento do eucalipto em solo desenvolvido sob arenito	Iporã	1
Doses de digestato de suínos em eucalipto - espaçamento 3 m x 1 m	Marechal Cândido Rondon	2
Doses de digestato de esterco bovino leiteiro em eucalipto - espaçamento 3 m x 1 m	Marechal Cândido Rondon	1
Sistema de Integração Pecuária-Floresta com eucaliptos e gado de leite	Missal	2
Materiais genéticos de eucalipto	Ouro Verde do Oeste	1
Materiais genéticos e espaçamentos em eucalipto	Palotina	1
Materiais genéticos, espaçamentos e doses de dejetos de suínos em eucalipto	Palotina	1
Materiais genéticos e espaçamentos em eucalipto	Terra Roxa	1
Doses de adubação química de P e K em eucalipto	Terra Roxa	1
Manejo de desbaste e espaçamentos em eucalipto	Terra Roxa	1
Doses de dejeto líquido de suínos em eucalipto	Terra Roxa	1
Sistema de Integração Pecuária-Floresta com eucaliptos e gado de leite	Terra Roxa	2
Sistema de Integração Pecuária-Floresta com eucaliptos e gado de leite	Toledo	1
Sistema de Integração Pecuária-Floresta com eucaliptos e gado de leite	Santa Helena	2
Total de unidades de referência		21

Foto: Guilherme de Castro Andrade

Figura 4. Ensaio do espaçamento e do manejo de vuso energético, Fazenda Piquiri da C.Vale, Assis Chateaubriand, PR, poucos meses após a sua instalação.

Foto: Guilherme de Castro Andrade.

Figura 5. Ensaio de Influência da adubação química com N e K no crescimento do eucalipto, Fazenda Piquiri da C.Vale, Assis Chateaubriand, PR, aproximadamente com 1 ano de idade.

Fotos: Guilherme de Castro Andrade (A); Marcia Toffani Simao Soares (B e C)

Figura 6. Área experimental do ensaio "Influência da adubação com dejetos líquidos suínos no crescimento do eucalipto", Fazenda Piquiri da C.Vale, Assis Chateaubriand, PR, durante preparo do solo (A), com mudas nas parcelas com aplicações de adubação mineral (B) e de dejetos líquidos suínos (C).

Fotos: Marcia Toffani Simao Soares

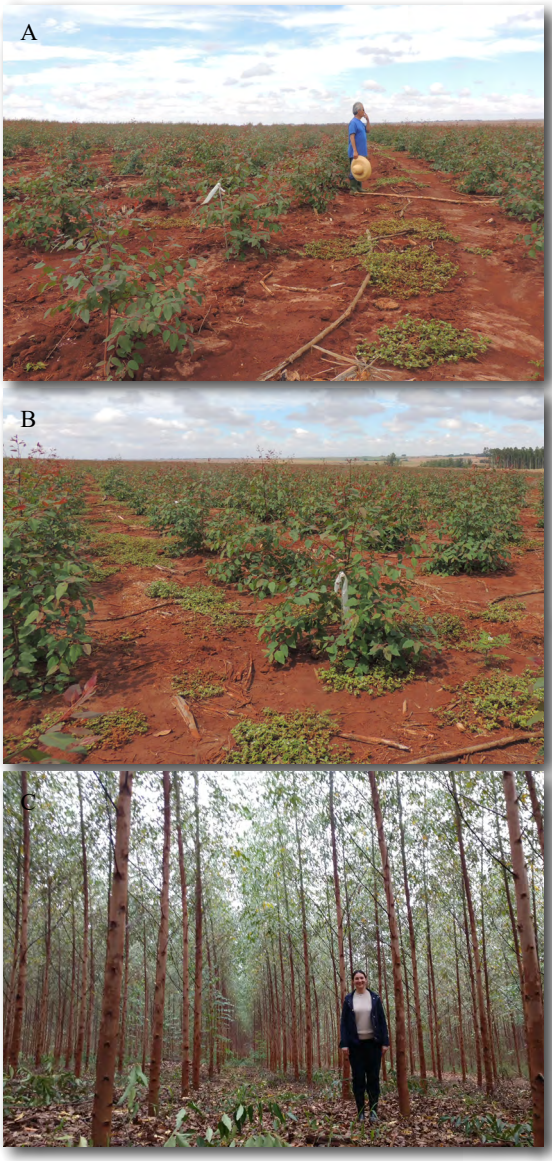


Figura 7. Área experimental do ensaio "Influência da adubação com dejetos líquidos suínos no crescimento do eucalipto", Fazenda Piquiri da C.Vale, Assis Chateaubriand, PR. Estágio inicial de desenvolvimento nas parcelas sem adubação (A) e com aplicação de dejetos líquidos suínos (B); e na idade aproximada de 1,5 anos, parcela com aplicação de dejetos líquidos suínos (C).

Foto: Joao Bosco Vasconcellos Gomes

Figura 8. Instalação do ensaio sobre a Influência da adubação química e orgânica no crescimento do eucalipto, em solo desenvolvido de arenito, Iporã, PR.

Avaliações biométricas foram realizadas em vários ensaios e unidades de referência, além da coleta de amostras de solos e de tecido foliar para análises. As atividades de avaliações representam, nesse momento, boa parte das ações de campo do projeto. Com a proximidade da idade de corte raso das áreas experimentais, também estão previstas coletas de discos de madeira para avaliações de qualidade (densidade da madeira). Essas coletas foram realizadas na Unidade de Referência "Materiais genéticos em diferentes espaçamentos de plantio de eucalipto", na Fazenda Piquiri da C.Vale. Em áreas de produção da C.Vale estão instalados oito ensaios e mais duas Unidades de Referência, essas últimas com idades próximas do corte raso.

Ações de transferência de conhecimento e tecnologia envolvendo o componente florestal, no oeste do Paraná

As diferentes ações de transferência de conhecimento e tecnologia do projeto atuam nos seguintes aspectos: i) na cadeia produtiva de produção de biomassa de madeira para fins energéticos na região, incluindo desde aspectos de gestão até a transformação dessa biomassa em energia; ii) junto aos técnicos e produtores que atuam no operacional da silvicultura de eucalipto para a produção de biomassa de madeira nas cooperativas e empresas da região; iii) junto aos pequenos produtores rurais interessados na introdução do componente florestal em sistemas solteiros e mistos (ILPF); e iv) na sensibilização dos profissionais em formação (estudantes) para a importância da cadeia produtiva florestal na região. As ações envolvem a elaboração de materiais didáticos e a promoção de eventos (seminários, cursos e dias de campo).

Os dois primeiros eventos de transferência de tecnologia do projeto foram realizados em dezembro de 2017, o Seminário "Experiências e desafios da produção florestal com foco em biomassa para energia, na região oeste do Paraná", na Universidade da C.Vale (Palotina, PR) e o Dia de Campo de silvicultura de eucalipto, em áreas de produção da mesma C.Vale na região. Esses dois eventos contaram com mais de 80 participantes entre técnicos de empresas, cooperativas, representantes de diferentes órgãos públicos, professores universitários e estudantes de graduação em ciências agrárias (Figura 9).

Em 2018 foram realizados Dias de Campo de ILPF em Missal e Terra Roxa (Figuras 10 e 11) e um minicurso de Biomassa na Federação das Indústrias do Paraná (FIEP), Curitiba, PR (Figura 12).

Foto: Katia Regina Pichelli

Figura 9. Dia de Campo de silvicultura de eucalipto, realizado dia 14 de dezembro de 2017, em áreas de produção da C.Vale, Palotina, PR.

Figura 10. Convite dos Dias de Campo - ILPF/silvipastoril na bovinocultura de leite, realizados em Missal e Terra Roxa, PR, no mês novembro de 2018.

Foto: Katia Regina Pichelli

Figura 11. Dia de Campo sobre sistemas de ILPF/silvipastoril na bovinocultura de leite, em Missal, PR, novembro de 2018.

Figura 12. Cartaz do Minicurso "Perspectivas da geração integrada de calor, frio e eletricidade a partir de biomassa", realizado na sede da Federação das Indústrias do Paraná (FIEP), Curitiba, PR, no dia 22 de outubro de 2018.

Em 2019 mais um dia de campo foi realizado, mostrando os resultados de produtividade, com uma comparação de diferentes materiais genéticos de eucalipto na Fazenda Piquiri, da C.Vale, incluindo a conversão da produção de biomassa em energia em função das análises de densidade de madeira dos diferentes materiais pesquisados (Figura 13).

Figura 13. Dia de campo "Plantios com diferentes materiais genéticos de eucalipto para energia no oeste do Paraná", Fazenda Piquiri da C.Vale, em Assis Chateaubriand, PR.

Em outubro de 2019, foram realizados seminários em parceria com Universidades da região (UTFPR - Campus Dois Vizinhos, Unioeste – Campus Cascavel e UFPR – Campus Palotina, Figura 14), com um público majoritário de alunos de graduação

e pós-graduação. O objetivo principal foi levar aos presentes as ações/resultados do projeto e discutir os aspectos que afetam a viabilidade da cadeia produtiva de eucalipto, como matéria-prima para a geração de energia.

Figura 14. Convite do Seminário "A viabilidade do plantio de eucalipto na região oeste do Paraná, realizado em Palotina, PR, outubro de 2019. Na mesma semana, o mesmo Seminário também foi realizado nos municípios de Dois Vizinhos e Cascavel.

Potencial de produtividade de eucaliptos na região

A C.Vale tem contribuído significativamente com a pesquisa florestal desenvolvida na região, devido ao seu pioneirismo nos testes envolvendo a silvicultura de eucalipto: materiais genéticos, espaçamentos de plantio, adubação química e orgânica, entre outros assuntos. Assim, com o objetivo de obter informações sobre a produtividade do eucalipto na região, parcelas da C.Vale com plantios de diferentes materiais genéticos de eucalipto vêm sendo avaliadas nos municípios de Palotina e Assis Chateaubriand. A região apresenta altitudes na faixa de 250 m a 300 m. As médias anuais de temperatura e precipitação pluviométrica são, respectivamente, 20,8 °C e 1.508 mm (Wrege et al., 2018a). A paisagem dos povoamentos de eucalipto avaliados é formada por longos interflúvios e dominadas por Latossolos Vermelhos Distróficos de textura argilosa, em relevo variando de plano à suave ondulado, solos de ótimo potencial agrícola. Os resultados de algumas avaliações são apresentados a seguir.

Avaliação de materiais genéticos de eucalipto - Área 1 da C.Vale

Foram realizadas medições de povoamentos de dez clones de *Eucalyptus*. Esses materiais correspondiam aos plantios comerciais da C.Vale à época. Os clones testados

estão entre os mais plantados no Brasil. Os resultados foram apresentados por Andrade et al. (2014). Os povoamentos estavam com idades entre 3 e 5 anos. Foram medidas parcelas de 600 m^2 de cada material genético, para a obtenção da altura total e do diâmetro à altura do peito - DAP (Tabela 3).

Tabela 3. Densidade de plantio, sobrevivência, diâmetro à altura do peito – DAP, altura média, volume de produção e incremento médio anual - IMA de diferentes clones de eucalipto em diferentes densidades de plantio – área 1 C. Vale.

Clone	Idade (anos)	Densidade de plantio (árvores ha^{-1})	Sobrevivência (%)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m^3 ha)	IMA (m^3 ha ano^{-1})
U154	5	2667	84,8	12,3	21,1	273,8	54,8
G157	5	2667	73,4	12,9	21,2	260,4	52,1
I144	5	2667	70,5	13,7	21,4	284,5	56,9
H13	5	2667	89,4	12,9	19,2	286,2	57,2
H13	3	2000	80,2	12,6	17,1	161,4	53,8
G162	5	2667	83,3	12,9	19,3	268,3	53,6
GG100	5	2667	86,5	13,2	19,7	285,1	57,0
GG100	4	1976	56,9	15,1	21,1	207,0	51,7
GG100	3	2000	65,8	13,4	18,0	161,0	53,7
GCAN	3,5	2000	98,7	12,9	16,3	196,1	56,0
H77	3	2000	89,5	11,8	19,8	186,7	62,2
A08	3	2000	85,2	12,5	19,4	195,3	65,1
I224	3	2000	91,4	11,5	17,5	158,6	52,9

Todos os clones cultivados mostraram bom desempenho de crescimento, alcançando IMA superior a 50 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, mesmo que estes não sejam clones de última geração, o que corrobora ainda mais o elevado potencial produtivo do eucalipto nos solos da região.

Avaliação de material genético de eucalipto - Área 2 da C.Vale

Foram avaliados seis clones de eucalipto com fins energéticos. Os clones estavam com 6,4 anos de idade à época das avaliações. Foram feitas medições de DAP e altura das árvores para as estimativas de volume de madeira e de biomassa produzidas nas parcelas. Foram cortadas duas árvores por clone, para a cubagem da árvore e coleta de discos do tronco. Análises de densidade da madeira e da casca foram realizadas no laboratório da Embrapa Florestas (Tabelas 4 e 5), possibilitando a conversão dos valores de volume em biomassa. As medições de DAP e altura foram realizadas nas 24 árvores centrais de cada parcela.

Tabela 4. Densidade de plantio, sobrevivência, diâmetro à altura do peito – DAP, altura média, volume de produção, incremento médio anual - IMA, densidade básica da madeira e biomassa da produção de diferentes clones de eucalipto, todos com 6 anos e 5 meses de idade – área 2 C. Vale.

Clone	Densidade de plantio (árvores ha^{-1})	Sobrevivência (%)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m^3 ha)	IMA (m^3 ha ano^{-1})	DBM (g cm^{-3})	Biomassa (t ha^{-1})
H13	1666	100,0	16,0	25,0	465	72,7	0,46	286
I144	1666	100,0	15,5	24,7	402	62,8	0,51	268
A08	1666	95,8	16,6	26,5	473	73,9	0,49	302
Super Clone	1666	100,0	17,6	25,5	511	79,8	0,46	311
2864	1666	95,8	16,7	25,6	457	71,4	0,48	288
2070	1666	91,7	18,1	27,8	551	86,1	0,46	341
I144[1]	2222	71,6	11,5	18,9	402	62,8	0,42	226

[1] Clone I144 plantado em espaçamento 3 m x 2 m x 1 m.

Tabela 5. Resultados da produção de biomassa convertida em energia de diferentes clones de eucalipto, todos com 6,5 anos de idade. Espaçamento de plantio 3 m x 2 m, sendo que o clone I144 também foi testado no espaçamento 3 m x 2 m x 1 m.

Atributos	Clones							
	Unidades	H13	A08	Super clone	2864	2070	I144 3x2 m	I144 3x2x1 m
Madeira								
Densidade da madeira	g cm^{-3}	0,46	0,49	0,46	0,48	0,46	0,51	0,42
Volume sem casca	m^3	419,00	421,00	447,00	401	50,00	355,00	357,00
Biomassa	Mg ha^{-1}	194,00	204,00	207,00	191	232,00	180,00	142,00
Produtividade de biomassa	Mg ha^{-1} ano^{-1}	30,04	32,15	32,26	29,77	36,29	28,22	23,38
Produtividade energética - madeira seca	Gcal ha^{-1} ano^{-1}	129,00	138,00	139,00	128	156,00	121,0	101,00
Produtividade energética - umidade 30%	Gcal ha^{-1} ano^{-1}	83,50	89,40	89,70	82,8	100,90	78,50	65,00
Produtividade energética - umidade 50%	Gcal ha^{-1} ano^{-1}	59,60	63,80	64,00	59,1	72,00	56,00	46,40
Casca								
Densidade da madeira	g cm^{-3}	0,23	0,22	0,24	0,27	0,24	0,24	0,24
Volume da casca	m^3	46,00	52,00	64,00	56	47,00	47,00	46,00
Biomassa	Mg ha^{-1}	-	-	-	-	-	-	-
Produtividade de biomassa	Mg ha^{-1} ano^{-1}	1,62	1,783	2,393	2,356	1,757	1,73	1,72
Produtividade energética - casca seca	Gcal ha^{-1} ano^{-1}	6,07	6,68	8,97	8,83	6,59	6,48	6,45
Madeira e casca								
Produtividade energética final - madeira e casca secas	Gcal ha^{-1} ano^{-1}	135,23	144,92	147,69	136,82	162,60	127,80	106,97

O sistema de produção utilizado nas parcelas envolveu o controle de formigas; aplicação de herbicida pré-emergente Fordor na dosagem de 150 g ha^{-1}; preparo do solo com grade aradora e subsolador na linha de plantio; calagem; aplicação, concomitante à subsolagem, de 210 kg ha^{-1} de superfosfato simples (125 g $planta^{-1}$); plantio manual das mudas no espaçamento de 3 m x 2 m (6 m^2 $planta^{-1}$); e adubação de manutenção com 100 g $planta^{-1}$ a 120 g $planta^{-1}$ de NPK 20:5:20. O conjunto de dados da avaliação possibilitou comparar o desempenho dos diferentes clones para produção de biomassa e energia na região, com destaque positivo para o desempenho de crescimento do clone 2070.

Tecnologias para o manejo de precisão de plantações de eucalipto

A equipe de desenvolvimento dos softwares SisEucalipto e SisILPF_Eucalipto da Embrapa Florestas está processando dados de crescimento de povoamentos de eucalipto da região, incluindo dados utilizados no item anterior de parcelas da C.Vale e de ensaios desenvolvidos pela equipe do CIBiogás em Ajuricaba. Também serão processados dados de avaliações dos ensaios e Unidades de Referência do próprio projeto. Essa base de dados viabilizará versões específicas dos referidos softwares para as condições da região oeste do Paraná. Dessa forma, as modelagens geradas pelos softwares permitirão a construção de prognósticos baseados nas diferenças de potencial dos sítios florestais (solos e clima) e dos níveis tecnológicos dos sistemas de manejo locais, auxiliando de forma efetiva a tomada de decisão para assuntos da cadeia produtiva de biomassa florestal na região.

Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Na região oeste do Paraná, o produtor da agropecuária apresenta baixa tradição com os plantios florestais. Procurando aumentar a sensibilidade desse produtor para o componente arbóreo e as vantagens que esse componente pode trazer para a propriedade rural, o Projeto Bioeste Florestas inseriu ações de pesquisa e desenvolvimento com os sistemas de ILPF. As Unidades de Referência e ensaios de ILPF estão nos municípios de Missal, Terra Roxa e Santa Helena (Figura 15).

Foto: Natalia Viera

Figura 15. Unidade de Referência de sistema de integração lavoura-pecuária-florestas, em Terra Roxa, PR.

Considerações finais

O Projeto Bioeste Florestas, uma parceria entre a Embrapa Florestas, Itaipu Binacional, CIBiogás, C.Vale e IDR-PR, foi desenvolvido para fornecer bases sólidas ao plantio de árvores para a produção de energia, a partir de biomassa florestal, na região oeste do Paraná.

O projeto apresenta três principais linhas de ação: i) disponibilização de ferramentas de diagnóstico e prognóstico dos plantios de eucalipto para a região, a partir das condições de solo e clima locais e do nível tecnológico desses plantios; ii) melhoria da sustentabilidade dos sistemas de produção de eucalipto, com ensaios de campo testando materiais genéticos de eucalipto, espaçamento de plantio, adubação, aplicação de dejetos de animais (principalmente de suínos que são abundantes na região) e testes de sistemas de ILPF; e iii) transferência de conhecimento e tecnologias para técnicos, sejam de cooperativas/empresas ou extensionistas, e produtores rurais.

O projeto foi iniciado em 2017 e tem previsão de duração até o ano 2021. As ações de diagnóstico da oferta ambiental (solos e clima) estão em fase de finalização ou já disponibilizadas. As ações de campo envolveram um grande esforço conjunto para a instalação de diversos ensaios experimentais e Unidades de Referência. O projeto prevê a realização de, aproximadamente, vinte avaliações anuais, incluindo diferentes tipos de solo e estudos de nutrição das plantas nas parcelas de eucalipto solteiro e nos sistemas de ILPF.

Os estudos de diagnóstico/prognóstico da cadeia produtiva do eucalipto na região estão em fase inicial, prospectando a oferta e demanda com o uso de informações

geoespaciais. As ações de transferência de tecnologia estão ganhando maior atenção desde o ano de 2018, com a realização de dias de campo, cursos e seminários específicos.

Agradecimentos

À Itaipu Binacional, pelo suporte institucional e financeiro, e às instituições que, em diferentes momentos, tornaram-se parceiras do projeto: CIBiogas, Emater-PR, Florestal Ouro Verde, UFPR - Campus de Palotina, UTFPR - Campus Dois Vizinhos e, representando as diversas cooperativas da região, à C.Vale, com um agradecimento especial ao seu gerente de área Alcemir Chiodelli, pelo apoio imprescindível aos ensaios de campo e na transferência de tecnologias.

Referências

ANDRADE, G. C.; OLIVEIRA, E. B.; BELLOTE, A. F. J.; CHIODELLI, A.; BECK, N. Desempenho de clones de *Eucalyptus* no Oeste do Paraná. In: MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MASSETO, G. C. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas. **Anais**: resumos expandidos. Curitiba: Malinovski, 2014. p. 173-175.

BOGNOLA, I. A.; GOMES, J. B. V.; HOLLER, W.; CÚRCIO, G. R.; RAUEN, M. J.; CARVALHO, A. P.; PÖTTER, R. O.; CARDOSO, A. **Atualização do levantamento de reconhecimento de solos dos municípios da Bacia do Paraná 3 e do município de Palotina**. Colombo: Projeto Bioeste Florestas, 2018. 40 p. (Relatório e mapa de circulação restrita).

EISFELD, R. L.; NASCIMENTO, F. A. F. **Mapeamento dos plantios florestais do Estado do Paraná**: *Pinus* e *Eucalyptus*. Curitiba: Instituto de Florestas do Paraná, 2015. 76 p.

HOLLER, W. A.; GOMES, J. B. V.; WREGE, M. S.; BOGNOLA, I. A.; BELLOTE, A. F. J.; SANTOS, P. E. T., ANDRADE, G. C.; SOARES, M. T. S.; MAEDA, S.; OLIVEIRA, E. B. **Mapa de aptidão das terras para o cultivo do eucalipto nos municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e do município de Palotina na escala 1:300.000**. Colombo: Projeto Bioeste Florestas, 2019 (mapa de circulação restrita).

MAEDA, S.; SOARES, M. T. S.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C.; BOGNOLA, I. A.; FASSINA, S. H. Atributos químicos de solo submetido à aplicação de dejetos líquidos de suínos em Assis Chateaubriand, Paraná. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS E AGROPECUÁRIOS, 6., 2019, Florianópolis. [**Biotecnologia aplicada ao tratamento e reuso dos resíduos**. Florianópolis: SBERA, 2019].

RELATÓRIO Anual de Atividades: 2014. Foz do Iguaçu: Centro Internacional de Energias Renováveis, CIBiogás-ER, 2014. 76 p.

RELATÓRIO de Atividades: 2016. Foz do Iguaçu: Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás, 2016. 42 p.

SOARES, M. T. S.; MAEDA, S.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. D. C.; BOGNOLA, I. A.; FASSINA, S. H. Desenvolvimento inicial de eucalipto submetido à fertilização química e aplicação de dejetos líquidos de suínos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4, 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOARES, M. T. S.; MAEDA, S.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. D. C.; GOMES, J. B. V.; FASSINA, S. H. Resposta inicial do eucalipto após aplicação de dejetos líquidos de suínos no oeste do Paraná. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS E AGROPECUÁRIOS, 6., 2019, Florianópolis. [**Biotecnologia aplicada ao tratamento e reuso dos resíduos**. Florianópolis: SBERA, 2019].

WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; NITSCHE, P.; FRITZSONS, E.; BOGNOLA, I. A.; SOARES, M. T. S.; GOMES, J. B. V.; HOLLER, W. A. **Cartas climáticas dos municípios da Bacia do Paraná 3**. Colombo: Embrapa Florestas, 2018a 71 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 314). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1087482.

WREGE, M. S.; GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; HOLLER, W. A. Zoneamento agroclimático do eucalipto para a região da Bacia do Paraná 3 em escala semidetalhada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2018b. p. 325-328.

28

Transferência de tecnologia para o sistema de produção de eucalipto

Emiliano Santarosa
Ives Clayton Gomes dos Reis Goulart
Joel Penteado Júnior
Vanderley Porfírio-da-Silva

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O segmento de florestas plantadas apresenta grande destaque na economia do Brasil. Especificamente, o sistema de produção de eucalipto corresponde a 72,3% (5,67 milhões ha) da área total de plantios florestais (IBÁ, 2017) e contribui diretamente para o suprimento de madeira e atendimento da demanda de diversos setores da economia, sendo utilizada para serraria, painéis, laminação, aglomerados (MDF, OSB, HDF), na construção civil, na produção de postes, dormentes e madeira para fabricação de papel e celulose. A produção de eucalipto apresenta destaque devido à geração de renda e diversificação da produção em propriedades rurais, bem como ao suprimento de produtos madeireiros das empresas de base florestal (Santarosa et al., 2019).

A Embrapa Florestas, desde o final da década de 1970, atua em pesquisa e desenvolvimento (P&D), para dar suporte ao atendimento da demanda do setor produtivo, por tecnologias e conhecimentos técnicos associados ao cultivo de eucalipto. Deste modo, busca-se promover o macroprocesso de inovação e geração de tecnologias, principalmente, com pesquisas relacionadas ao planejamento e manejo do sistema de produção, auxiliando na expansão dos cultivos em novas áreas, aumento de produtividade, redução de custos e fatores associados à tecnologia e qualidade da madeira.

A inovação tecnológica envolve prospecção de demandas, pesquisa, desenvolvimento, transferência de tecnologia, adoção e avaliação do impacto resultante, entre outros processos. Nesse sentido, uma etapa importante para a inovação na cadeia produtiva de florestas plantadas é a transferência de tecnologia (TT) em sistema de produção de eucalipto. Nesta etapa, o conhecimento científico sobre a espécie e as soluções tecnológicas geradas pela pesquisa são compartilhados com a cadeia produtiva. Por meio de ações de TT, objetiva-se que as soluções tecnológicas sejam adotadas pelo setor produtivo, visando a geração de valor na produção, expressos em impactos sociais, econômicos e ambientais positivos.

Para alcançar este objetivo, são estabelecidas estratégias para o processo de TT (Porfírio-da-Silva; Baggio, 2003; Baggio et al., 2009; Dereti et al., 2009; Pinto; Santarosa, 2015). Esta questão envolve a prospecção de demandas junto aos produtores rurais e empresas agropecuárias/florestais, o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias aplicadas à realidade dos produtores e a atuação associada com a extensão rural, principalmente na adaptação das tecnologias em cada situação, perfil de produtor, região, cadeia produtiva, mercado, entre outros fatores.

A conexão entre a pesquisa científica e as demandas do setor produtivo é fundamental para viabilizar a evolução tecnológica da cadeia produtiva do eucalipto. Esta conexão contribui na inserção do componente florestal de forma adequada em propriedades rurais, diversificando a renda da propriedade. Neste sentido, a pesquisa tem papel essencial tanto na geração como na transferência destas soluções tecnológicas ao setor produtivo (Dereti et al., 2009; Cavalcanti, 2015). Neste capítulo serão

apresentados alguns conceitos e ações de transferência de tecnologia para o sistema de produção de eucalipto, realizados pela Embrapa Florestas e parceiros, nos últimos anos.

Conceitos

Compreender os conceitos do processo de inovação auxilia no planejamento das estratégias de pesquisa e desenvolvimento, bem como na respectiva TT. A inovação pode ser considerada um ativo novo para os consumidores ou uma característica nova de um ativo já existente, seja este um produto, processo ou insumo (OCDE, 2005), neste caso aplicados ao setor florestal e agropecuário. Em 2016 foi sancionada a Lei de nº 13.243, conhecida como Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (Brasil, 2016, 2018), onde foram inseridos novos conceitos. A Política de Inovação da Embrapa contém as seguintes descrições, utilizadas no contexto da inovação e transferência de tecnologia:

- **Pesquisa, desenvolvimento & inovação**: pesquisa e desenvolvimento consistem no trabalho criativo e empreendido em base sistemática, com vistas a aumentar o estoque de conhecimento, incluindo o conhecimento do homem, da cultura e da sociedade, e o uso desse estoque para perscrutar novas aplicações. A inovação consiste na introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços e processos, ou compreenda a agregação de novas funcionalidades ou características ao produto, serviço ou processo já existente, que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho.
- **Prospecção**: esforços sistemáticos para analisar o conjunto de fatores e agentes envolvidos no processo de inovação e suas inter-relações, com o propósito de entender e antecipar as potencialidades, tendências, características e possíveis efeitos das mudanças tecnológicas que, provavelmente, produzirão maiores benefícios econômicos, ambientais e, ou sociais.
- **Ativos de inovação**: produtos, processos, tecnologias, conhecimentos, componentes pré-tecnológicos e tecnológicos obtidos, gerados ou desenvolvidos pela Embrapa, isoladamente ou em conjunto com terceiros.
- **Agentes multiplicadores**: profissionais de ciências agrárias, em atividade ou em formação. Técnicos da Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater) pública ou privada, que atuam na difusão tecnológica diretamente aos produtores rurais.
- **Soluções tecnológicas**: conjunto de conhecimentos técnicos testados e validados que assumem o sentido de utilidade para a sociedade. Abrange o conjunto de produtos, processos e serviços da Embrapa em atendimento às demandas produtivas e tecnológicas da população ou público a que se destinam.

- **Transferência de tecnologia**: processo de transferência de conhecimento técnico ou científico envolvendo habilidades, conhecimentos, tecnologias, métodos e tipos de manufatura e outras facilidades.

A denominação "transferência de tecnologia" é um conceito dos setores que dependem de inovação, por vezes tratada como "difusão de tecnologia". Porém, esta última está vinculada ao desenvolvimento da extensão rural (Dereti, 2007), onde uma inovação é compartilhada por meio de canais de comunicação, envolvendo membros de um sistema social (Rogers, 1995). Nos últimos anos, novos componentes têm sido agregados, incluindo uma visão mais ampla de transferência de tecnologia e conceitos de inovação, considerando diferentes métodos, a adoção das tecnologias e seus impactos sociais, econômicos e ambientais.

Metodologia

Inovação e transferência de tecnologia na Embrapa Florestas

A inovação envolve atividades de pesquisa para geração de conhecimento e tecnologias florestais, juntamente com práticas voltadas para implementação de ações de transferência ao público-alvo.

Este último processo ocorre por meio de metodologias específicas, mediante formalização de cooperação técnica, capacitação de agentes multiplicadores, monitoramento de unidades de referência tecnológica, realização de dias de campo e elaboração de materiais técnicos-científicos que apoiam a adoção das tecnologias.

Existem relações institucionais e na cadeia produtiva pelas quais ocorre a TT (Figura 1). A pesquisa florestal pode ocorrer de forma conjunta com as empresas de base florestal, onde as tecnologias geradas são adotadas por estas empresas, refletindo nos produtos entregues à sociedade. O acúmulo de conhecimento técnico na pesquisa, também, permite a elaboração dos sistemas de produção e a geração de novas tecnologias. Por isso, também são estabelecidas redes de parcerias público-privadas e com a extensão rural, cujo objetivo é transferir as tecnologias aos técnicos e, por conseguinte, aos produtores rurais.

O processo de transferência de tecnologia na Embrapa Florestas é organizado em temas estratégicos, que apresentam tecnologias validadas e passíveis de serem transferidas. De acordo com as demandas do público-alvo, os temas podem orientar o planejamento da agenda de P&DI. Atualmente, as principais temáticas demandadas são as seguintes:

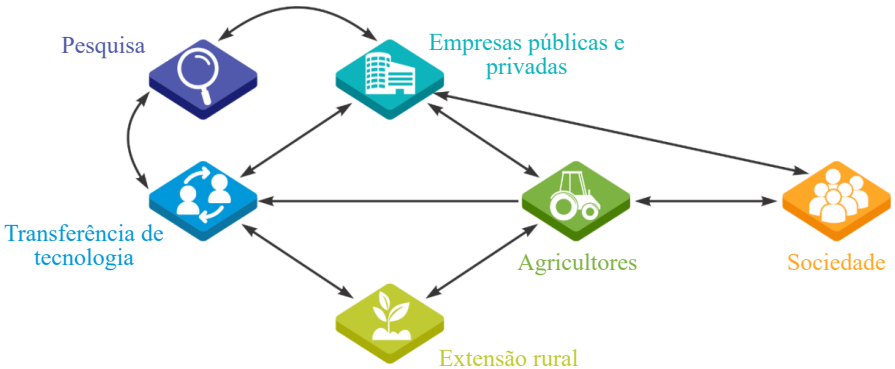


Figura 1. Interações para o desenvolvimento de pesquisa e transferência de tecnologia.

- Sistema de produção de eucalipto.
- Sistema de produção de pinus.
- Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF).
- Sistemas agroflorestais.
- Restauração de ecossistemas degradados e adequação ambiental.
- Sistema de produção de erva-mate.
- Produção de mudas de espécies florestais.
- Sistema de produção de pupunha.
- Tecnologia da madeira.
- Softwares para manejo florestal.

Atribuições e estratégias de TT

A pesquisa e transferência de tecnologia tem o propósito de contribuir com soluções tecnológicas e conhecimentos aplicados à melhoria dos sistemas de produção florestal e tecnologias da madeira. Visa contribuir para a transformação das propriedades rurais resultante da adoção das tecnologias florestais e também o aporte destas soluções tecnológicas por parte das empresas do setor e da cadeia produtiva florestal.

O objetivo é gerar impacto positivo na cadeia produtiva, com aumento da produtividade, por meio da inserção de novas cultivares e manejo, a redução de custos, o manejo integrado de pragas e doenças, o aumento da área plantada, a agregação de valor, a adoção de sistemas sustentáveis de produção, a geração de renda, a melhoria da qualidade de vida e a redução do impacto ambiental. O fluxo simplificado para o processo está ilustrado na Figura 2.

Este fluxo estreita a relação entre a pesquisa e o setor produtivo, capacitando a assistência técnica. A Embrapa atua na pesquisa, enquanto a Ater atua na difusão das tecnologias aos produtores, por sua missão e capacidade de alcance (Cavalcanti, 2015).

Figura 2. Relação entre a Pesquisa e Desenvolvimento (PD&I), a Transferência de Tecnologia (TT) e a Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater).

É importante ressaltar que a transferência de tecnologia florestal requer períodos de atuação contínua, devido ao caráter perene das espécies florestais. Em geral, as soluções tecnológicas florestais necessitam de uma sequência de projetos de pesquisa, até alcançarem a maturidade adequada para efetiva transferência ao setor produtivo.

Para determinar o estágio de uma tecnologia, do início de seu desenvolvimento até a sua adoção, a Embrapa utiliza uma escala de maturidade tecnológica, onde Technology Readiness Levels (TRLs) indicam o grau de maturidade de um produto e Manufacturing Readiness Levels (MRLs) indicam o grau de maturidade de um processo, ambos em uma escala de 1 a 9 (Capdeville et al., 2017). As soluções tecnológicas em estágios de maturação mais avançados são fundamentais para ações de TT. Os estágios de maturação de cada solução tecnológica devem ser respeitados, bem como a identificação de soluções que possam atender as demandas da sociedade, de produtores rurais ou empresas do setor, no curto, médio e longo prazos. Existem linhas de pesquisa que originam tecnologias distintas, como implementos, softwares para manejo florestal, sistemas de produção, técnicas de micropropagação, métodos de recuperação ambiental, entre outros. Algumas vezes a tecnologia será transferida de laboratório para laboratório. Em outras, o produto será um conhecimento a ser difundido como prática agropecuária (Dereti et al., 2009).

Em alguns casos, também, busca-se estabelecer parcerias para a validação das tecnologias, com instituições públicas e privadas que apresentam interesse no desenvolvimento de pesquisa e representação regional, tornando-se referência em determinados assuntos. Consideram-se os aspectos socioeconômicos e ambientais, visando atuar em locais onde o impacto potencial é maior, contribuindo para o desenvolvimento regional.

Métodos e instrumentos

Existem diferentes métodos que podem ser utilizados no processo de transferência de tecnologia. A escolha de um ou a combinação deles dependerá do público-alvo, das características da região, do estágio de maturação tecnológica, se a tecnologia está validada ou em processo de validação, bem como dos parceiros envolvidos. As principais ações e métodos de TT utilizados na Embrapa Florestas são:

- **Rede de parceria interinstitucional e cooperação técnica**: a articulação interinstitucional refere-se ao processo de negociação e formalização de parcerias com

instituições dos setores agropecuário e florestal, como o sistema de Ater, cooperativas, prefeituras e, ou empresas privadas, visando atuações nos âmbitos municipal, estadual ou nacional. As parcerias são formalizadas mediante Termos de Cooperação Técnica, por meio dos quais são firmadas atividades com objetivos e linhas temáticas de interesse comum, bem como estabelecido o processo de transferência de tecnologia a ser utilizado. Trata-se da primeira etapa do processo de TT, após a identificação das demandas e da existência de soluções tecnológicas.

- **Prospecção de demandas e portfólio de tecnologias**: prospecção de demandas junto a técnicos, produtores rurais e parceiros interinstitucionais que integram a cadeia produtiva dos diferentes sistemas de produção. Avaliação e registro das tecnologias, produtos, processos e serviços da Embrapa Florestas, passíveis de ações de transferência de tecnologia (portfólio de tecnologias).
- **Capacitações de agentes multiplicadores**: realização de cursos e treinamentos destinados à formação de agentes multiplicadores em determinadas tecnologias da Embrapa. De acordo com as demandas da Ater, de cooperativas, de instituições de aprendizagem rural e de empresas florestais, as capacitações são geralmente formalizadas por meio de Termos de Cooperação Técnica. Os técnicos têm a função de difundir as soluções tecnológicas entre os produtores rurais, para facilitar a adoção, de acordo com a realidade rural (Santarosa et al., 2013).
- **Unidades de referência tecnológica (URT)**: refere-se à propriedade rural que apresenta um modelo de sistema de produção ou tecnologia que possa ser apropriado por outros produtores. A URT serve como espaço de demonstração, reflexão e avaliação, a partir do qual se inicia a capacitação para a adoção (Dereti et al., 2009). As URTs normalmente são implantadas em propriedades rurais, centro de treinamento ou áreas públicas de interesse, como escolas ou feiras agropecuárias (Porfírio-da-Silva; Baggio, 2003). Apresentam adaptações dos sistemas de produção ou tecnologia às condições locais, de modo que possa ser utilizada como ferramenta pedagógica e estimular os produtores em novas formas de organização e utilização do agroecossistema em sua propriedade (Baggio et al., 2009). Portanto, as URTs são sistemas de produção implantados em propriedades rurais que servem de referência ou modelo para a adoção de tecnologias, onde são demonstradas as técnicas ou práticas de manejo para melhorias da produção florestal e agropecuária, adaptadas *à*s condições locais e regionais.
- **Dias de campo**: consiste em evento para divulgação da tecnologia por meio de estações temáticas instaladas na propriedade rural e no sistema de produção (URT). Nos dias de campo são reunidos produtores e técnicos de diversas regiões, a fim de verificar, na prática, o sistema de produção onde são abordados aspectos sobre planejamento e manejo, além de dados relevantes sobre a tecnologia abordada, tais como produtividade e rendimento coletados na própria URT.

- **Publicações e materiais técnicos**: são materiais didáticos desenvolvidos para a transferência de tecnologia florestal em determinada região, como suporte para cursos de capacitação e eventos. Envolvem publicações técnicas no formato de livros, série documentos, comunicado técnico, manuais ou série específica para TT florestal, softwares, cartilhas, folders, website, entre outros. Estes materiais podem ser acessados pelo site da Embrapa Florestas, na página de transferência de tecnologia (www.embrapa.br/florestas).
- **Reuniões técnicas**: realizadas aos produtores rurais, setor produtivo e agentes multiplicadores, a fim de realizar o planejamento e monitoramento das unidades de referência tecnológica e divulgar informações técnicas, bem como prospectar demandas tecnológicas;
- **Feiras e eventos**: com o intuito de divulgar tecnologias da Embrapa, são realizados com o apoio da equipe de eventos do Núcleo de Comunicação Organizacional (NCO), com a coordenação técnica do Setor de Implementação da Programação da Transferência (SIPT). Inclui, também, a participação da Embrapa em eventos organizados por terceiros. São destinados ao público externo, incluindo diferentes perfis de público-alvo, como estudantes, técnicos, produtores, público urbano, entre outros, definidos na fase de planejamento de cada evento. Busca-se projetar técnica e institucionalmente a empresa, criando oportunidades de negócios, o fortalecimento de parcerias e o intercâmbio de informações.
- **Ações de comunicação**: divulgação das tecnologias da Embrapa em diferentes mídias e canais de comunicação, para disseminar ações de pesquisa e tecnologias da Embrapa Florestas, de acordo com o seu público-alvo.
- **Avaliação de impacto**: realizada por intermédio do método de excedente econômico e aplicação da metodologia Ambitec (Rodrigues et al., 2002, 2003, 2005; Ávila et al., 2005), que envolve a avaliação de indicadores econômicos, sociais e ambientais, para fins de composição de relatórios de impacto das tecnologias e composição do Balanço Social da Embrapa. A avaliação de impacto está relacionada aos benefícios proporcionados após a adoção de uma determinada tecnologia, em comparação com a situação anterior do sistema de produção, tais como resultados de aumentos de produtividade, novas cultivares, redução de custos como aquele resultante do manejo integrado de pragas e doenças, expansão da área de produção, agregação de valor (tecnologias de processamento), adoção de sistemas sustentáveis de produção e menor impacto ambiental, entre outros fatores.

Descrição da tecnologia e a cadeia produtiva do eucalipto

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de florestas plantadas, apresentando condições climáticas favoráveis para o cultivo e para a aplicação de técnicas silviculturais, envolvendo desde o melhoramento genético, a produção de

mudas por sementes e processos clonais, até o manejo de plantios florestais e tecnologia da madeira (Santarosa et al., 2019).

O eucalipto tem sido extensivamente utilizado devido ao seu rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies, capacidade de adaptação em diferentes biomas e pelo potencial de uso de sua madeira para diferentes finalidades (Santarosa et al., 2019). A área total de plantio corresponde a 5,67 milhões ha, com média de 35,7 metros cúbicos por hectare. Nos últimos anos, verificam-se aumentos significativos dos plantios em estados situados nas novas fronteiras agrícolas, como Maranhão, Tocantins, Piauí e Mato Grosso do Sul (IBÁ, 2017).

A demanda de madeira de eucalipto para diferentes finalidades tem contribuído também para a geração de renda, uma vez que o seu cultivo permite aos agricultores a diversificação da produção, seja por meio de florestas plantadas (Santarosa et al., 2014; Santos, 2014), ou pela adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (Porfírio-da-Silva et al., 2009; Balbino et al., 2011), além da produção pelas empresas de base florestal.

A madeira de eucalipto é utilizada para múltiplos usos, sendo a cadeia produtiva de florestas plantadas estruturada em diferentes segmentos (Figura 3). Em relação à área com florestas plantadas, 34% pertence às empresas do segmento de celulose e papel e 29% está com proprietários independentes, pequenos e médios produtores que investem em plantios florestais para comercialização da madeira in natura. Em seguida, estão os segmentos de siderurgia a carvão vegetal (14%), de painéis de

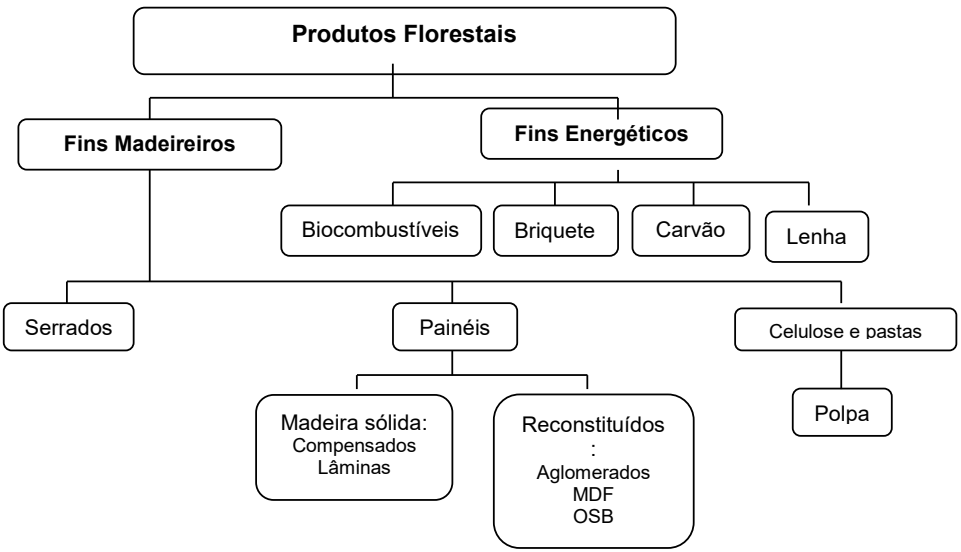


Figura 3. Cadeia produtiva da madeira.
Fonte: Santarosa et al. (2014).

madeira e pisos laminados (6%), de produtos sólidos de madeira (4%) e outros (3%) (IBÁ, 2017).

Contribuindo para a produção do setor florestal, *Eucalyptus* (Figura 4) é um gênero com disponibilidade de materiais genéticos para diferentes condições edafoclimáticas e recomendações técnicas para o cultivo. Entretanto, é necessário verificar fatores técnicos para a escolha da espécie adequada, como o clima, solo, sistema de cultivo, finalidade de uso e o sistema de colheita (Andrade; Bellote, 2014; Santarosa et al., 2014, 2019; Santos; Paludzyszyn Filho, 2014; Bellote et al., 2018), sendo que a produtividade final alcançada dependerá das condições edafoclimáticas, do manejo silvicultural, dos insumos e do material genético utilizado, o que gera uma grande demanda por conhecimentos nestas áreas.

Foto: Luciane Cristine Jaques

Figura 4. *Eucalyptus benthamii* em Colombo, PR.

Para resolver esta demanda, o sistema de produção de eucalipto desenvolvido pela Embrapa Florestas e parceiros, com pesquisas realizadas desde o final da década de 1970, gerou inovações que definem as principais técnicas de planejamento e manejo da produção para alcance de alta produtividade florestal deste gênero, considerando as diferentes finalidades de uso da madeira (Paludzyszyn Filho et al., 2006; Paludzyszyn Filho; Santos, 2013; Andrade; Bellote, 2014; Auer; Santos, 2014; Bellote; Andrade, 2014; Maeda et al., 2014; Queiroz et al., 2014; Santos; Paludzyszyn Filho, 2014; Wendling et al., 2014; Bellote et al., 2018; Santarosa et al., 2019). No sistema de produção de eucalipto constam conhecimentos e soluções tecnológicas, desde zoneamento e materiais genéticos recomendados, técnicas de plantio, adubação, desramas e desbastes, controle de pragas e doenças, até tecnologia da madeira e outros fatores que auxiliam empresas, técnicos e produtores rurais no uso da tecnologia (Tabela 1).

Tabela 1. Principais soluções tecnológicas para silvicultura de eucalipto utilizadas em ações de transferência de tecnologia.

Solução tecnológica
Zoneamento de espécies
Planejamento de plantios puros e ILPF
Produção de mudas
Implantação e manejo
Adubação
Controle de plantas daninhas
Controle de pragas
Controle de doenças
Desrama e desbaste
Colheita florestal
Tratamento de madeira
Análise econômica
Eucalyptus benthamii
Software SisEucalipto
Software SisDunnii
Software SisILPF
Software Planin

As demandas atuais referem-se a plantios puros de eucaliptos em sistemas de ILPF. Dessa forma, soluções tecnológicas envolvendo estes sistemas de produção têm figurado como objetos de ações de TT. Cabe salientar que as soluções tecnológicas também possuem outras formas de transferência. Dessa forma, as soluções apresentadas no Tabela 1 refletem apenas uma parte das tecnologias desenvolvidas.

Em termos de impacto resultante, a tecnologia dos sistemas de produção de eucalipto tem contribuído de forma significativa para a expansão dos cultivos florestais no Brasil, com aumento de produtividade e, também, com conhecimento para o cultivo em outros países. Sendo esta utilizada tanto por grandes empresas florestais quanto por médios e pequenos produtores rurais. Vale ressaltar o grande valor agregado à cadeia produtiva da madeira, em função do aumento de produtividade com o uso desta tecnologia, sendo parte dela convertida em produtos de alto valor comercial que, ao serem exportados, contribuem positivamente para a balança comercial e para o PIB do Brasil, auxiliando na geração de renda e empregos no setor.

Resultados - transferência de tecnologia envolvendo eucalipto

Adiante estão descritas algumas ações e resultados referentes ao processo de transferência de tecnologia para o sistema de produção de eucalipto. Tais resultados são oriundos de projetos de TT envolvendo parceiros público-privados desenvolvidos nos últimos anos, sendo que os principais estão listados a seguir:

- "Adequação ambiental dos sistemas de produção da agricultura familiar no estado do Paraná", pela carteira da Embrapa (Macroprograma 4), realizado de 2004 a 2007.
- "Florestas na propriedade Rural: modelo de estratégias de transferência de tecnologia florestal", pela carteira Embrapa (Macroprograma 4), realizado de 2012 a 2015.

- Capacitações em sistema silvipastoril, projeto elaborado pelo edital Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), realizadas de 2015 a 2017.
- "Transferência de tecnologia em sistemas de ILPF nos estados de SP, MS e PR", pela carteira da Embrapa (Macroprograma 4), realizada no período de 2015 a 2018.
- Agenda Comum: as ações de TT entre a Embrapa Florestas e o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR/Emater) fazem parte da Agenda Comum e da cooperação técnica entre as instituições. Além de parcerias na área florestal com Emater-RS.

Articulação interinstitucional

Considerando a transferência de tecnologia para o sistema de produção de eucalipto, os principais resultados de articulação e estabelecimento de parcerias são referentes à cooperação técnica entre Embrapa Florestas, IDR-PR/Emater e Secretaria de Agricultura e Abastecimento (Seab-PR), conhecida como Agenda Comum. Também, a cooperação técnica entre Embrapa Florestas e Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar-PR). Nessas cooperações foram estabelecidos planos de trabalhos para transferência de tecnologia no estado do Paraná, a fim de orientar o planejamento e a atuação conjunta das instituições. Alguns exemplos do processo de TT e das articulações interinstitucionais podem ser vistos na Figura 5, de acordo com o Projeto Florestas na Propriedade Rural: modelo de estratégias para transferência de tecnologia florestal.

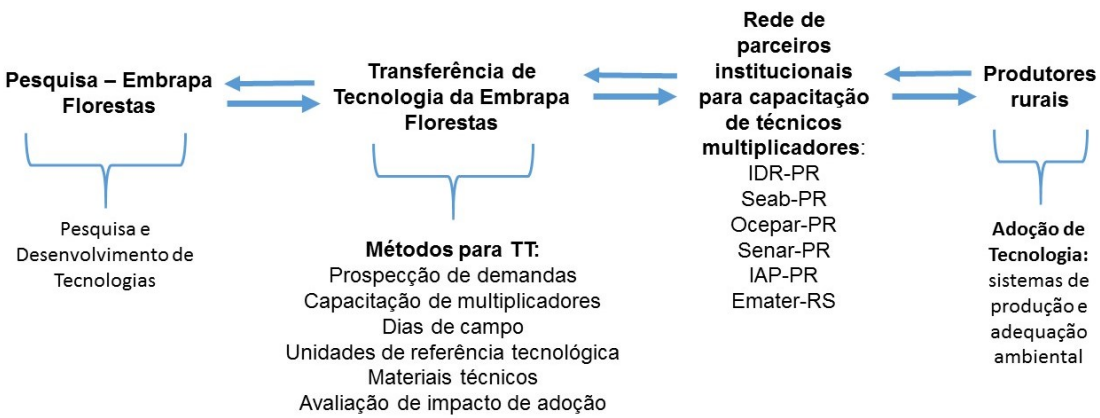


Figura 5. Modelo da cooperação técnica nos estados do PR e do RS, envolvendo a pesquisa e desenvolvimento, transferência de tecnologia, rede de parceiros institucionais e produtores rurais. Projeto Florestas na Propriedade Rural: modelo de estratégias para transferência de tecnologia florestal.

Outra exemplo de articulação foi realizada entre as unidades da Embrapa em projeto de TT e ações da Rede ILPF. Neste projeto foram executadas diversas ações envolvendo a tecnologia e o cultivo de eucalipto. Além das parcerias mencionadas, outras ações foram realizadas ao longo dos anos, de acordo com a demanda e envolvendo outras instituições. Diferentes palestras e cursos também foram realizados no Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Mato Grosso, Tocantins, entre outros Estados, em parceria com instituições públicas e privadas do setor agropecuário e florestal.

Prospecção tecnológica

A prospecção tecnológica referente ao cultivo de eucalipto é feita de diversas formas, sendo a mais comum diretamente com os parceiros dos setores público e privado, durante a articulação ou utilizando metodologias específicas, no decorrer das cooperações técnicas. O contato direto com empresas do setor de base florestal, extensão rural, cooperativas, entre outras instituições, também permite a troca de informações. Além disso, existe a captação de demandas diretamente do público-alvo, em eventos agropecuários e dias de campo ou, ainda, pela análise das demandas ao Serviço de Atendimento ao Cidadão (SAC) e dos acessos ao portal da Embrapa Florestas (www.embrapa.br/florestas).

A Figura 6 resume as demandas sobre eucalipto atendidas pelo Serviço de Atendimento ao Cidadão (SAC) da Embrapa Florestas, entre janeiro de 2015 e junho de 2019, com um aumento gradual dessa demanda verificado principalmente entre 2015 e 2017. Dentre elas destacam-se o controle de pragas florestais, tratos culturais e manejo do eucalipto, a inserção do eucalipto na ILPF e a gestão econômica dos plantios, evidenciados pelas temáticas de atendimento e disponibilidade de softwares.

Em 2012 a Embrapa Florestas, em parceria com a Organização das Cooperativas do Paraná (Ocepar-PR), realizou uma prospecção de demanda por madeira de eucalipto para energia, por meio de questionário (Tabela 2). O resultado indicou que a área de produção para suprir esta demanda deveria praticamente dobrar, se mantidos os níveis produtivos da época (Goulart et al., 2012).

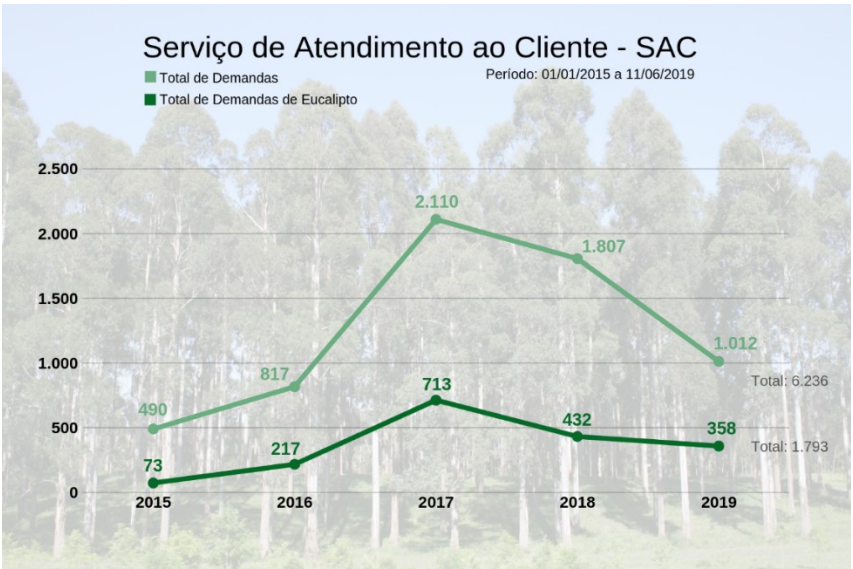


Figura 6. Demandas atendidas pelo Serviço de Atendimento ao Cidadão (SAC) da Embrapa Florestas envolvendo a temática eucalipto.

Tabela 2. Produção de grãos, demanda por lenha, área de produção própria ou de cooperados e suprimento de lenha em cooperativas agropecuárias. Adaptado de Goulart et al. (2012).

Cooperativa	Produção de grãos 2009 (t)	Demanda (t/ano)	Área florestal (ha)	Suprimento (t/ano)	Demanda-suprimento (t/ano)
1	4.971.710	260.000	3.805	185.000	-75.000
2	1.722.236	140.000	850	-	-140.000
3	1.156.649	35.000	740	30.000	-5.000
4	1.150.759	50.400	2.500	10.500	-39.900
5	607.560	75.000	3.601	60.000	-15.000
6	597.099	78.947	427	110.000	31.053
7	584.024	20.000	760	22.400	2.400
8	549.640	35.000	1.000	17.500	-17.500
9	396.910	20.000	85	-	-20.000
10	372.699	40.000	70	2.182	-37.818
11	363.800	40.000	450	-	-40.000
12	328.310	9.975	131	4.463	-5.512
13	288.512	13.000	239	9.100	-3.900
14	129.820	7.500	118	7.500	-
15	129.500	2.286	-	-	-2.286
16	118.000	6.000	200	-	-6.000
17	29.842	350	20	200	-150
Total	13.497.070	833.458	14.996	458.844	-374.613

Capacitação de Agentes Multiplicadores

A capacitação de agentes multiplicadores é o principal meio de transferência de tecnologia, uma vez que esses profissionais atuam na difusão diretamente com produtores rurais. Essa estratégia proporciona maior alcance das soluções tecnológicas desenvolvidas. Alguns exemplos de parcerias e ações de TT relativas à capacitação de agentes multiplicadores na temática eucalipto, realizadas nos últimos anos pela Embrapa Florestas e parceiros, são apresentados adiante.

Seminário sobre tecnologias florestais

Capacitação sobre tecnologias florestais realizada em maio de 2012, durante o evento Semana de Integração Tecnológica, realizado em Sete Lagoas, MG, pela Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Florestas (Figura 7). Foram abordados os temas panorama florestal, mercado, desafios e oportunidades, incluindo discussões sobre florestas energéticas e oportunidades do Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Ênfase foi dada à temática silvicultura de eucalipto, tratando sobre as diferentes tecnologias para o respectivo sistema de produção.

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 7. Seminário sobre tecnologias florestais, envolvendo a silvicultura de eucalipto, realizado em Sete Lagoas, MG. Parceria entre Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Florestas.

Seminário sobre ILPF com eucalipto

Seminário realizado no município de Realeza, PR em julho de 2012, fruto de uma parceria entre Embrapa Gado de Leite, Embrapa Florestas, IDR-PR/Emater e a Prefeitura de Realeza, PR. O público presente foi de 110 participantes, sendo composto por técnicos agropecuários e produtores rurais (Figura 8). Foram demonstrados e

Fotos: Emiliano Santarosa

Figura 8. Seminário sobre sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), realizado em Realeza, PR. Parceria entre IDR-PR/Emater e Embrapa Florestas.

discutidos os ganhos ambientais, sociais e econômicos provenientes da adoção de sistemas de produção sustentáveis, como o ILPF envolvendo também a tecnologia ou conhecimentos técnicos para o cultivo de eucalipto.

Capacitação em florestas plantadas: silvicultura de eucalipto

Curso realizado na Embrapa Florestas, em Colombo, PR, em maio de 2013. O curso foi destinado aos instrutores do Senar-PR, para mostrar-lhes a utilização de tecnologias florestais com finalidade de planejamento, implantação e manejo florestal, aplicados à silvicultura de eucalipto (Figura 9).

Foto: Luciane Cristine Jaques

Figura 9. Capacitação de agentes multiplicadores em silvicultura de eucalipto, realizada na Embrapa Florestas, em 2013. Parceria Embrapa Florestas e Senar-PR.

Os seguintes tópicos foram abordados: implantação e manejo; escolha de espécies; nutrição e adubação; doenças do eucalipto; pragas do eucalipto; manejo de plantações florestais com o uso de software (SIS), incluindo desrama e desbaste; aspectos econômicos para o cultivo de eucalipto; tecnologia industrial e tratamento da madeira.

Dia de campo sobre silvicultura de eucalipto

Dia de campo realizado em maio de 2013, com visita técnica aos plantios de eucalipto localizados na Fazenda Cambijú, em Ponta Grossa, PR, destinados aos técnicos multiplicadores do Senar-PR (Figura 10). No dia de campo foram abordadas as seguintes temáticas: viveiro para produção de mudas florestais; preparo do solo e implantação; manejo do solo e adubação; áreas de replantio e reforma; diferença na taxa de crescimento entre espécies puras e híbridos, tais como *Eucalyptus dunnii* x *Eucalyptus benthamii;* diferenças de crescimento em função do tipo de solo e histórico de uso do solo; manejo florestal com ênfase na desrama, como importante fator à produção de madeira de qualidade.

Fotos: Emiliano Santarosa

Figura 10. Dia de campo sobre silvicultura do eucalipto. Parceria Embrapa Florestas e Senar-PR. Local: Fazenda Cambijú, Ponta Grossa, PR.

Dia de campo sobre sistema silvipastoril com eucalipto

Atividade realizada em parceria com a Emater-RS, em propriedade localizada no município de Caseiros, RS, em abril de 2013. Os principais temas abordados foram a produção de madeira no sistema silvipastoril e o conforto térmico animal.

Também, foi ressaltada a importância de se realizar tratos silviculturais e do adequado manejo das árvores, como a desrama e os desbastes, a fim de produzir madeira de qualidade (madeira sem presença de "nó" ou madeira clear) e aumentar a entrada de luminosidade no sistema.

Referente ao sombreamento e conforto térmico animal foram abordados os benefícios sobre a produção de gado de corte e gado leite. Além disso, a necessidade da adoção de técnicas para melhorias do manejo das pastagens, melhoramento genético e fitossanitário dos animais em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

Capacitação sobre ILPF com eucalipto

Curso realizado em outubro de 2014 nos municípios de União da Vitória, PR e Porto Vitória, PR, destinado aos técnicos do IDR-PR/Emater. O objetivo foi capacitar profissionais de ciências agrárias ao planejamento, implantação e manejo de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Na oportunidade, elaborou-se proposta de instalação de 16 áreas com sistema silvipastoril para região. Essa atividade fez parte da Agenda Comum Embrapa Florestas e IDR-PR/Emater (Figura 11).

Foto: Amauri Ferreira Pinto

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 11. Curso de capacitação para agentes multiplicadores em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), modalidade silvipastoril, em União da Vitória e Porto Vitória, PR. Parceria Embrapa Florestas e IDR-PR/Emater. Agenda Comum.

Fórum Florestal

Anualmente, a Embrapa Florestas participa do Fórum Florestal-RS, realizado no município de Não-Me-Toque, RS, durante a feira agropecuária Expodireto, no qual tecnologias florestais são apresentadas e discutidas junto ao setor produtivo (Figura 12). Em diferentes anos, tal como ocorrido em 2018, as principais soluções tecnológicas abordadas foram os sistemas de produção florestal envolvendo o cultivo de eucalipto ou o sistema ILPF em propriedades rurais.

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 12. Fórum Florestal-RS sobre Florestas e Agricultura de Baixo Carbono, realizado em 2018. Parceria Emater-RS, Embrapa Florestas, Ageflor e Cotrijal. Expodireto: Não-Me-Toque, RS.

Capacitação de técnicos e produtores

Evento técnico realizado em abril de 2015, em Teutônia-RS, parceria entre a Embrapa Florestas, Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater-RS) e o Colégio Agrícola Teutônia (Figura 13). O tema da capacitação foi sistema silvipastoril com eucaliptos e monocultivo de eucaliptos. O público-alvo da capacitação foi composto por extensionistas e produtores rurais. A demanda local envolveu tecnologias para diversificar a renda e otimizar a produção de leite nas propriedades.

Foto: Ives Claiton Gomes dos Reis Goulart

Figura 13. Capacitação de extensionistas e produtores em Teutônia, RS.

Curso sobre energia de biomassa de eucalipto

Curso realizado em setembro de 2012, em parceria com a Organização das Cooperativas do Estado do Paraná (Ocepar). O público-alvo foi composto por gerentes operacionais e extensionistas de cooperativas afiliadas ao Sistema Ocepar, como resultado da prospecção de demandas. Os temas que compuseram o curso foram: características da lenha relacionadas à combustão; impacto da umidade e da espécie no custo da energia; produtividade energética de plantios florestais; métodos de aferição da qualidade da lenha e cavaco; tecnologia para utilização de resíduos florestais.

Dia de campo em Sistema Silvipastoril

Realizado em dezembro de 2013, em parceria com o Instituto Agronômico do Paraná (Iapar) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), o dia de campo teve como objetivo capacitar estudantes de engenharia florestal em manejo de eucalipto, em sistemas silvipastoris (Figura 14).

Foto: Ives Claiton Gomes dos Reis Goulart.

Figura 14. Dia de campo para formandos do curso de engenharia florestal da USFM.

Dia de campo em sistemas ILPF com eucalipto

Dia de campo realizado anualmente, decorrente da parceria entre o Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (Nita) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Embrapa Florestas, em experimentos localizados na Fazenda Canguiri, no município de Pinhais-PR. Nos dias de campo são inseridas estações técnicas sobre o planejamento do sistema de produção e manejo do componente florestal em ILPF, envolvendo conhecimentos técnicos sobre a silvicultura de eucalipto. O evento destina-se a produtores rurais, técnicos e estudantes (Figura 15).

Fotos: Emiliano Santarosa

Figura 15. Dia de campo e estações técnicas em evento sobre ILPF, envolvendo o cultivo de eucalipto, realizado na Fazenda Canguiri, no município de Pinhais, PR. Parceria Nita (UFPR) e Embrapa Florestas.

Publicações e materiais técnicos

Nos últimos anos (2011-2019), foram elaborados materiais técnicos para auxiliar na divulgação das tecnologias do sistema de produção de eucalipto. Estes materiais são utilizados nas ações presenciais de TT e suas versões e-book estão disponibilizadas no Repositório de Informação Tecnológica da Embrapa (Infoteca-e).

Em 2014 foi criada a Série TT florestal, composta por materiais específicos para transferência de tecnologia, contendo os principais temas demandados pelo público externo. As publicações de TT sobre eucalipto estão disponibilizadas nesta série. Os temas elencados para elaboração destes materiais são estabelecidos de acordo com o resultado da prospecção de demandas, e também pela análise da oferta tecnológica da Embrapa Florestas.

Destaque para a publicação e manual técnico sobre o sistema de produção de eucalipto, utilizado em ações de TT (Figura 16) e elaborado com a participação da pesquisa e da transferência de tecnologia. Neste manual constam as informações técnicas sistematizadas sobre o sistema de produção, incluindo informações sobre o planejamento, espécies, implantação, manejo florestal, colheita e tratamento da madeira. O material visa subsidiar informações para o aumento de produtividade e qualidade da madeira, possibilitando aos produtores e técnicos o acesso ao conhecimento e apoiando a adoção da tecnologia. Esta publicação, também, é utilizada pelos parceiros institucionais para auxiliar o treinamento de técnicos e produtores, ampliando o alcance das informações na cadeia produtiva florestal.

Figura 16. Publicação sobre o sistema de produção de eucalipto (Manual Técnico *Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda*), utilizada em capacitações de agentes multiplicadores. Projeto Florestas na propriedade rural: modelo de estratégias para transferência de tecnologia florestal.

Além da série TT, a Embrapa disponibiliza a série Comunicado Técnico, cujo público-alvo envolve profissionais de ciências agrárias e produtores; e a série Documentos, de cunho científico.

Todos estes materiais estão disponíveis no portal da Embrapa Florestas (www.embrapa.br/florestas) e no acervo digital da Biblioteca da Embrapa, tais como sistema BDPA, Alice, Infoteca, entre outros. Na Base de Dados da Pesquisa Agropecuária (BDPA) é possível encontrar 4.081 registros de publicações envolvendo eucalipto, incluindo artigos científicos. No Repositório de Informação Tecnológica da Embrapa (Infoteca-e) encontram-se 1.865 itens publicados. No Acesso Livre à Informação Científica da Embrapa (Alice), por sua vez, *e*stão disponibilizadas 3.963 publicações (Figura 17). Este acervo demonstra a grande quantidade de publicações disponíveis para ações de transferência de tecnologia e acesso ao conhecimento técnico-cientifico, auxiliando na adoção de tecnologia pelos produtores rurais, cooperativas, empresas florestais e demais usuários interessados.

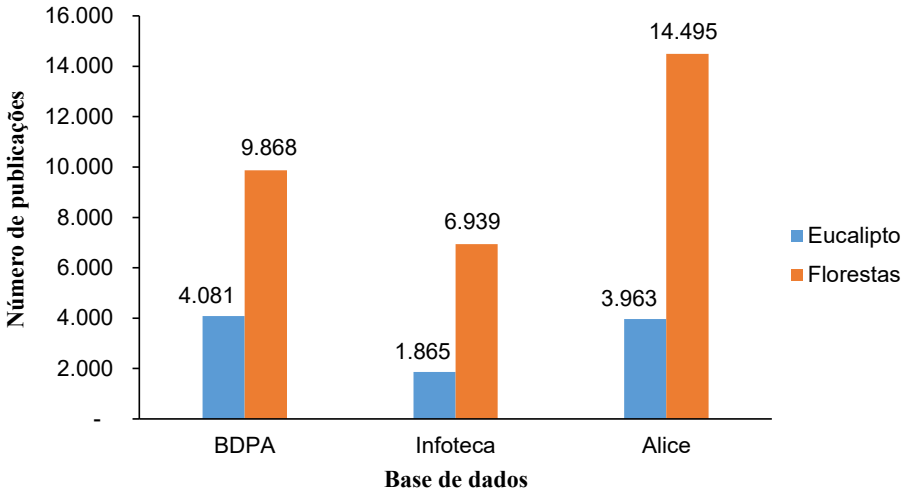


Figura 17. Número de publicações envolvendo diretamente a tecnologia Embrapa eucalipto, encontradas em suas diferentes bases de dados. Busca realizada para as temáticas Eucalipto e Florestas, nos sistemas BDPA, Infoteca-e e Alice.

Feiras e eventos

A partir de uma análise estratégica de atuação da Embrapa Florestas, foram elencados os eventos prioritários para participação, em função da localização e região do evento, abrangência, perfil do público, regiões potenciais para utilização das tecnologias florestais e onde houve maior quantidade de demandas. Para estes eventos são selecionados materiais como folders, maquetes, publicações técnicas, entre outros, de acordo com as demandas de cada região. Dentre os principais eventos com participação da Embrapa Florestas envolvendo a temática do eucalipto, destacam-se:

- Expodireto/Cotrijal, realizada no município de Não-Me-Toque, RS (Figura 18)

Foto: Emiliano Santarosa

Figura 18. Participação da Embrapa na Expodireto - Cotrijal no município de Não-Me-Toque, RS.

- Show Rural Coopavel, PR, realizado no município de Cascavel, PR.
- Dinâmica Agropecuária (Dinapec), realizada no município de Campo Grande, MS.
- Feira Florestal Brasileira (Expoforest) realizada no município de Santa Rita do Passa Quatro, SP.
- Fórum Florestal, realizado no município de Não-Me-Toque, RS;
- Show Tecnológico Rural do Oeste Catarinense (Tecnoeste) realizado no município de Concórdia, SC.

Página de TT – Eucalipto

Visando proporcionar ao público uma maior visibilidade às tecnologias florestais e maior acesso à informação, a Embrapa Florestas desenvolveu as páginas de TT Florestal, disponível no seu portal (www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia), sendo esta uma ferramenta complementar para as ações de transferência de tecnologia, também aplicadas para o eucalipto (Figura 19). Nesta página constam algumas das principais tecnologias florestais demandadas pela sociedade e informações tais como:

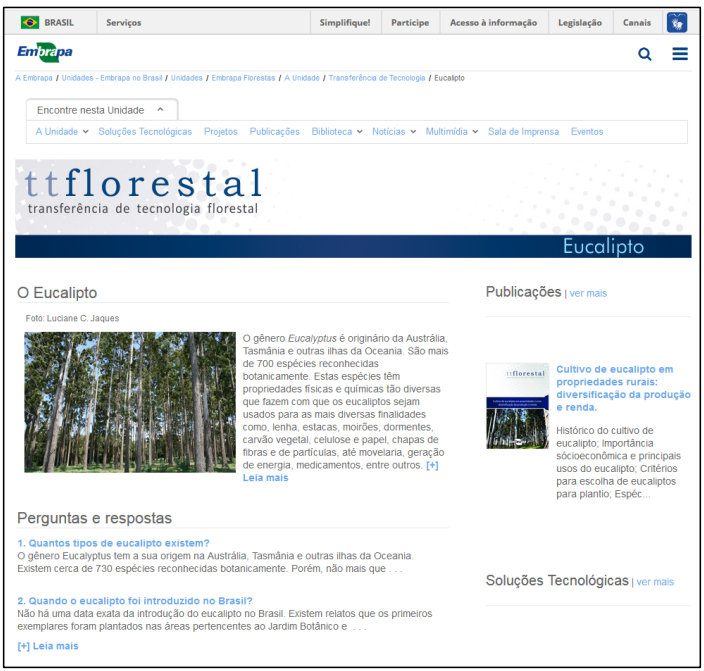
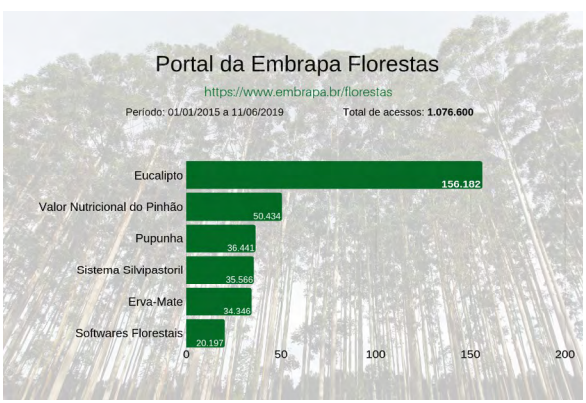


Figura 19. Página específica sobre TT para eucalipto - website, contendo informações técnicas de rápido acesso e downloads de publicações técnico-cientificas na página da Embrapa Florestas (www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia).

- Manual para o sistema de produção de eucalipto.
- Perguntas e respostas sobre sistema de produção de eucalipto.
- Publicações técnico-científicas.
- Vídeos.
- Soluções tecnológicas relacionadas com a temática.
- Cursos.
- Fotos.
- Folders e outros materiais técnicos.
- Programas de rádio.

As páginas de TT Florestal apresentam-se como destaques do portal, em função do grande acesso do público externo, resultando em 273.855 acessos realizados no período de 2015 até junho de 2019 (Figura 20). A tecnologia envolvendo o eucalipto foi a principal temática acessada naquele período, representando cerca de 147.092 do total daqueles acessos, para perguntas e respostas. Também, a publicação sobre o sistema de produção *Cultivo de Eucalipto em Propriedades Rurais: diversificação da produção e renda* destaca-se como uma das publicações técnicas mais acessadas e com significativo número de downloads da Embrapa Florestas, inclusive com usuários de outros países. O portal da Embrapa Florestas também apresentou destaque, resultando em 1.076.600 acessos para o período avaliado, sendo a temática eucalipto acessada 156.182 vezes.



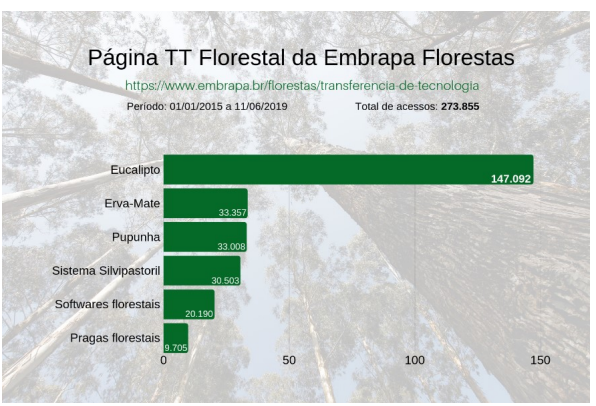


Figura 20. Número de acessos total e por temática no Portal e na página de TT da Embrapa Florestas. Período: 1º de janeiro de 2015 até 11 de junho de 2019.

Eventos sobre eucalipto realizados peala Embrapa Florestas e parcerias

No período 2010-2019, o número total de eventos realizados pela Embrapa Florestas e parcerias envolvendo diretamente a tecnologia eucalipto foi 133, incluindo seminários, palestras e cursos, resultando em uma média anual de 13 eventos. Em comparação com o período de 2000 a 2009, quando foram realizados 70 eventos, observa-se aumento significativo no último período avaliado, praticamente dobrando o número de ações. Desta forma, considerando o período total (2000-2019) foram realizados 203 eventos envolvendo assuntos sobre o eucalipto.

Neste levantamento, é importante ressaltar que não estão inclusos dados sobre integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), no qual grande parte dos eventos realizados pela Embrapa Florestas abordou a silvicultura de eucalipto aplicada aos sistemas de integração, o que aumentaria ainda mais o resultado final.

Esta informação revela o empenho e a grande quantidade de ações de transferência de tecnologia realizadas pela Embrapa Florestas, para que as soluções tecnológicas sobre o sistema de produção de eucalipto e tecnologia da madeira chegassem ao público-alvo. Além disso, para a temática Florestas, vale ressaltar que foram realizados 461 eventos no período 2000-2019, com significativa participação de tecnologias envolvendo diversos assunto sobre o eucalipto (Figura 21).

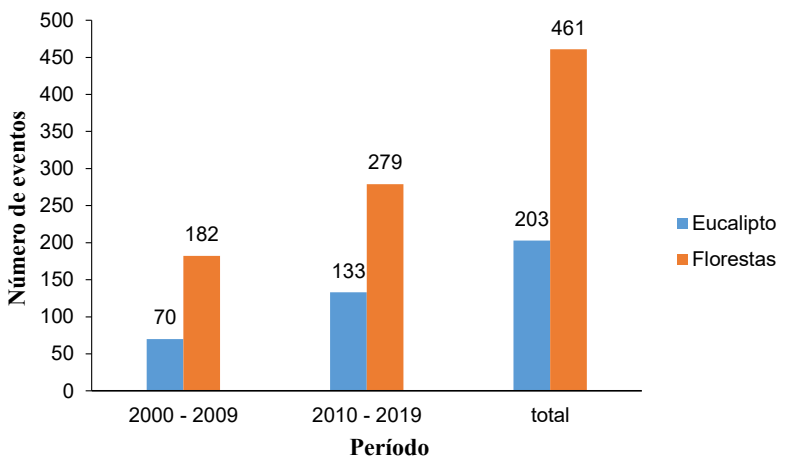


Figura 21. Número de eventos envolvendo tecnologias sobre eucalipto, realizados pela Embrapa Florestas. Levantamento de dados para as temáticas *Eucalipto* e *Florestas,* utilizando o sistema de Apoio à Gestão de Eventos (AGE). Período 2000-2019.

Software SisEucalipto

A produção e qualidade da madeira de uma floresta plantada com fins produtivos é influenciada pelo material genético utilizado, pela qualidade do sítio, pelo manejo, destacadamente pela execução dos desbastes e desramas. Os desbastes são necessários para a obtenção da maior produção e quando se deseja toras de diâmetros elevados ao final da rotação. Este é o caso da produção de toras para serraria e laminação.

Em meados da década de 1990, a Embrapa Florestas desenvolveu o software SisEucalipto. Esse programa computacional determina o tipo de desbaste mais adequado para cada povoamento, a época e a intensidade ideais para a sua realização e, também, o momento ideal para o corte final. Avalia, ainda, o estoque de madeira disponível no presente e em cada ano futuro, em termos de volume total e volume por classe de utilização. Além disso, permite prever o volume disponível para venda e para o abastecimento de fábricas, realizando análises econômicas em função de cenários de custos, preços e demandas futuras.

Este software utiliza como base os métodos de manejo florestal e engenharia econômica para realizar simulações da produção de madeira, por sortimento de classes de diâmetro em povoamentos de eucalipto. As possibilidades de manejo em plantios florestais são inúmeras. Assim, um caminho prático e eficaz é proporcionado aos produtores para se obter informações que indiquem como e quando realizar desbastes em plantios de eucalipto. Essa modelagem possibilita uma visão conjunta de variáveis biológicas e econômicas envolvidas no manejo.

Os principais usuários e beneficiários são as empresas florestais; os silvicultores individuais; as cooperativas agrícolas; as universidades; as indústrias de processamento de madeira; as associações de produtores florestais; os sindicatos de reflorestadores; as empresas de consultoria e assistência técnica; os bancos de investimento; as agências de fomento; os técnicos e engenheiros florestais autônomos. O SisEucalipto foi desenvolvido para uso em computadores com sistema operacional Windows e pode ser baixado gratuitamente na página da Embrapa Florestas (www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/softwares-florestais).

Material genético - *Eucalyptus benthamii*

Eucalyptus benthamii, de origem australiana, foi introduzido no Brasil, pela Embrapa Florestas por apresentar características como, rapidez de crescimento, boa forma das árvores e tolerância ao frio. Com esses atributos, a expectativa era que tanto as empresas florestais quanto as propriedades rurais pudessem produzir localmente e dispor de matéria-prima florestal para os mais diversos usos, além de energia, para produção de celulose e escoras nas construções civis, apesar das geadas que, periodicamente, causam danos na maioria das espécies de eucalipto plantadas no Sul do Brasil.

A estratégia da Embrapa Florestas para o desenvolvimento e transferência da tecnologia foi: a) obtenção de sementes de *Eucalyptus benthamii*; b) introdução de material com variabilidade genética no Brasil, para testes; c) plantio e manejo para avaliação do desenvolvimento; d) manejo inicial voltado essencialmente à produção de sementes; e) parceria com a iniciativa privada para estabelecimento de plantios para validação e para incrementar a disponibilidade de material de propagação da espécie.

As principais características da tecnologia e suas vantagens em relação à tecnologia anterior são que, anteriormente, a única espécie de eucalipto disponível e que apresentava tolerância relativa às geadas era *E. viminalis.* Porém, essa espécie apresenta baixa produtividade e qualidade da madeira para processamento mecânico, além de grande dificuldade de produzir sementes, diferentemente de *E. benthamii,* que apresenta boa produtividade de madeira e toras com boa forma, além de ser tolerante a geadas severas.

Os beneficiários da tecnologia são as cooperativas agrícolas e os grandes estabelecimentos rurais que utilizam a biomassa de origem florestal para secagem de grãos, bem como os médios e pequenos produtores rurais que plantam florestas de rápido crescimento para produzir madeira destinada à energia ou pequenas construções rurais. Estes últimos passaram a ter o componente florestal, seja em plantios puros ou com a inclusão das árvores em sistemas agrossilvipastoris, como fator de agregação de renda em suas propriedades.

Avaliação de impacto

A Embrapa Florestas e parceiros da iniciativa pública e privada, há quatro décadas têm desenvolvido e transferido uma grande quantidade de tecnologias, serviços e produtos, nas diferentes áreas do conhecimento do setor florestal. As tecnologias geradas têm sido fundamentais na redução dos custos de produção, no aumento de produtividade, na melhoria da qualidade de matérias-primas e na obtenção da sustentabilidade da produção. Continuamente, a Embrapa Florestas dedica esforços para conceber melhorias e aprimorar a sua efetividade. Assim, neste sentido, procura constantemente avaliar o cumprimento de sua missão, avaliando os impactos econômicos, sociais e ambientais que as tecnologias por ela gerada proporcionam aos produtores adotantes e à cadeia produtiva. Estes estudos têm a finalidade de analisar se os custos da pesquisa são compensados pelos ganhos auferidos pelos beneficiários, em relação à incrementos de produtividade, redução de custos, expansão de área e agregação de valores.

Estas avaliações passaram a compor a fundamentação do Balanço Social da Embrapa, o qual é elaborado anualmente e divulga à sociedade brasileira o resultado dos principais impactos causados pelas suas tecnologias transferidas e adotadas

pela sociedade. Para este fim é empregada metodologia padrão, por meio da qual se estimam os impactos econômicos, sociais e ambientais de caráter *"ex post",* ou seja, são medidas as alterações ocorridas nos estabelecimentos agrícolas e no seu entorno após a implementação das tecnologias, comparando-as com a situação anterior à adoção. Esta estratégia é baseada no método de excedente econômico e na avaliação de indicadores socioambientais gerados pela adoção tecnológica, por meio da metodologia Ambitec (Rodrigues et al., 2002; Ávila et al., 2005).

A seguir, são descritos resumidamente os principais impactos gerados por duas soluções tecnológicas relacionadas com o sistema de produção de eucalipto. Uma refere-se à introdução de material genético de *Eucalyptus* e a outra aos impactos gerados mediante o uso do software SisEucalipto.

Eucalyptus benthamii

Além da rapidez de crescimento e tolerância ao frio, *E. benthamii* produz mais madeira em relação a outras espécies alternativas para esta condição. Enquanto a produtividade anual destas espécies é 30 m³/ha, a de *Eucalyptus benthamii* pode chegar a 43 m³/ha (Rodigheri et al., 2007). Devido a essa característica, para uma mesma produção de biomassa para energia, o prognóstico é que haverá uma redução de, pelo menos, 10% de recursos naturais, fertilizantes químicos e formicidas.

As avaliações de impacto dessa opção demonstraram que a adoção de *E. benthamii* promoveu a geração de emprego e renda, propiciando oportunidades de empregos diretos tanto em viveiros de produção de mudas quanto na colheita da madeira, e empregos indiretos nos trabalhos de transformação e beneficiamento da madeira. Além disso, incluem pequenos produtores no sistema de produção e, por proporcionar mais renda, auxiliam também na melhoria da qualidade de vida nas áreas rurais.

A respeito das perspectivas de utilização de *E. benthamii*, percebe-se uma oportunidade no curto prazo, em nível internacional, pois a União Europeia afirma que, até 2020, 20% de toda a energia produzida na Europa deverá ser proveniente de recursos renováveis. Entre as alternativas sugeridas, está o uso de pellets de madeira como combustível para a indústria e, na América do Norte, os Estados Unidos e o Canadá adotaram a mesma estratégia para o aquecimento residencial. Dentro dessa perspectiva, surge uma boa oportunidade para que a indústria brasileira atenda parte da demanda internacional de pellets de madeira que podem ser originados de madeira de *E. benthamii*. Do ponto de vista ambiental, a exploração das florestas plantadas reduz as pressões extrativistas sobre as florestas nativas, ao oferecer alternativa sustentável de madeira proveniente de plantios florestais, evitando assim o desmatamento de matas nativas; esta inovação contribui também para a manutenção dos regimes hídricos, da fertilidade do solo, da qualidade do ar e da água, atuando, ainda, como forma de estoque de CO_2.

Considerando que, independentemente da espécie de eucalipto destinado à energia, as práticas de manejo são as mesmas para todos, os custos de implantação e de produção também podem ser similares. A vantagem de *E. benthamii* está na maior produtividade de madeira, o que resulta em benefício econômico líquido ao produtor, da ordem de 30,23% em relação à outra espécie de eucalipto utilizada em regiões de clima frio. Embora a tecnologia tenha sido lançada em 1992, em função do longo período desde o plantio até a produção de sementes, característico de espécies florestais, a adoção por parte dos produtores iniciou-se apenas em 1999. Entretanto, o incremento rápido da área plantada deveu-se ao resultado da estratégia de transferência de tecnologia e da quantidade de mudas produzidas e comercializadas pela Embrapa Florestas naquele período.

Essa tecnologia resultou da introdução deste material no Brasil, pela Embrapa Florestas. Quanto ao impacto econômico de geração e de adoção da tecnologia, os indicadores apontaram que o retorno sobre o capital investido foi muito superior aos gastos realizados com o desenvolvimento e transferência.

Software SisEucalipto

O SisEucalipto está sendo adotado em aproximadamente 1,5 milhão de hectares de florestas plantadas de eucalipto, distribuídas em 14 estados da Federação. Os principais usuários e beneficiários deste software são: empresas florestais; silvicultores individuais; cooperativas agrícolas; universidades; indústrias de processamento de madeira; associações de produtores florestais; sindicatos de reflorestadores; empresas de consultoria e assistência técnica; bancos de investimento; agências de fomento; técnicos e engenheiros florestais autônomos.

Constata-se, anualmente, a expansão do número de produtores que utilizam esse software na gestão do plantio de eucalipto. Observa-se que houve, também, um aumento nos rendimentos auferidos com a adoção dessa tecnologia. Isso se deve ao fato de o produtor ter à sua disposição uma ferramenta que informa, por simulações de cenários, qual a prática de manejo mais rentável para a sua propriedade.

A avaliação econômica realizada pela Embrapa estima os benefícios privados da pesquisa, por hectare. Os valores são obtidos pelo cálculo dos ganhos adicionais da plantação, ao utilizar a nova tecnologia, isto é, a projeção de produção obtida com o sistema SisEucalipto, em toda a área onde foi adotada, menos os custos da pesquisa, transferência e manutenção desse sistema. Entretanto, os benefícios líquidos totais da pesquisa obtêm-se diminuindo os benefícios privados totais (benefícios privados por hectare multiplicados pela área total plantada) dos custos da pesquisa e manutenção do SisEucalipto.

Os principais benefícios advindos do uso do software, segundo pesquisa de opiniões de seus usuários, são:

- Agregação de valor, pela melhor qualidade da madeira.
- Aumento da rentabilidade dos setores de produção primária e de industrialização da madeira.
- Benefícios econômicos, sociais e ambientais, destacando-se que os produtores florestais, em média, obtêm 15% de ganho econômico pelo melhor gerenciamento de suas florestas de eucalipto.
- Impactos positivos sobre o conhecimento e capacitação.
- Qualificação do emprego.

Os métodos de avaliação econômica consideram que uma nova tecnologia gerada pela pesquisa é economicamente viável quando a sua adoção promove benefícios líquidos positivos. No caso do software SisEucalipto, o valor do índice benefício/custo foi R$ 1.955,21, ou seja, para cada R$1,00 investido, houve um retorno de R$ 1.955,21. A taxa interna de retorno foi 1.669,83%. Os valores evidenciam que a adoção desta tecnologia propiciou um impacto econômico positivo muito expressivo, auferindo um significativo retorno econômico.

Dos benefícios econômicos totais auferidos com a tecnologia, 70% são atribuídos à Embrapa Florestas, pelo desenvolvimento do software, treinamento, atualização e acompanhamento dos usuários; os outros 30% são atribuídos às empresas que forneceram os inventários florestais e a base de dados dos seus plantios; os quais subsidiaram o desenvolvimento e propiciam a constante atualização e melhorias do software.

Considerações finais e perspectivas

As ações de transferência de tecnologia para o sistema de produção de eucalipto promoveram a capacitação continuada de agentes multiplicadores, resultando em um valor médio de 13 eventos realizados por ano e qualificando mais de cinco mil técnicos em tecnologias florestais entre 2010 e 2019. As soluções tecnológicas relacionadas ao eucalipto têm apresentado impactos econômicos, sociais e ambientais positivos para o setor florestal e para a sociedade brasileira.

Os reflexos podem ser verificados pelo aumento da adoção das tecnologias florestais, melhorias nos sistemas de produção florestal, diversificação da produção e renda, e no desenvolvimento rural sustentável dos municípios de atuação dos técnicos capacitados. Além da expansão do cultivo de eucalipto em diferentes regiões do Brasil, cuja base técnica apresenta contribuições da tecnologia Embrapa e parceiros para o sistema de produção dessa espécie. Importantes avanços proporcionados pelos conhecimentos da silvicultura de eucalipto também são aplicados aos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. Estes sistemas apresentam-se como importante alternativa para os

produtores, tanto para bem estar animal quanto para a produção de madeira, sendo o eucalipto uma das principais espécies utilizadas.

Novas demandas indicam a necessidade da pesquisa e transferência de tecnologia florestal de forma contínua. A agricultura de precisão, as ferramentas digitais e a automação são tecnologias cada vez mais presentes em algumas regiões. Também, a necessidade de aumento da produtividade, adequação ambiental, redução de custos e práticas de manejo que auxiliem os produtores, em diferentes níveis tecnológicos, tornam necessária a continuidade deste processo.

Projeções para o setor de florestas plantadas, também, indicam a necessidade contínua de ações em pesquisa e transferência de tecnologia, visando auxiliar a implementação de políticas públicas nacionais, como o Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas (PNDF) e a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. A meta definida pelo PNDF é ampliar a área de produção florestal em dois milhões de hectares até 2030, o que representa aumento de 20% sobre a área atual, ressaltando a importância do setor florestal no Brasil. Portanto, considerando a importância do setor florestal e o cenário em relação à crescente demanda por produtos florestais, deve-se buscar ainda mais a eficiência dos projetos de pesquisa e transferência de tecnologia florestal, sendo estas ações essenciais para o sistema de produção de eucalipto e a cadeia produtiva de florestas plantadas.

Referências

ANDRADE, G. C.; BELLOTE, A. F. Implantação de cultivos de eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 43–54. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

ÁVILA, A. F. D.; MAGALHAES, M. C.; VEDOVOTO, G.; IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, G. S. Avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa. **Revista de Política Agrícola**, v. 15, p. 86-101, 2005.

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Principais doenças e seu controle. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 103-111. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

BAGGIO, A. J.; MAIA, V. A.; AGNER JUNIOR, N.; VIEIRA, D. C.; MASCHIO, W. **Relatório sobre experiências na implantação de Unidades de Referência Tecnológica em Sistemas Agroflorestais, no Projeto Iguatú II**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 42 p. (Embrapa Florestas, Documentos, 181). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/658429.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. (ed.). **Marco referencial**: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BELLOTE, A. F.; ANDRADE, G. C. Adubação. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 59-60. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C.; MOLINARI, H. B. C.; ROCHA, J. D.; SILVA, M. L. B. da; STEINMETZ, R. L. R.; FAVARO, S. P. Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira. In: KUNZ, A.; OTENIO, M. H.; LEITAO, R. C.; GAMBETTA, R. (ed.). **Energia limpa e acessível**: contribuições da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 23-33. E-book. (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 7). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1090875.

BRASIL. **Lei 13.243, de 11 de janeiro de 2016**. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, a capacitação científica e tecnologia e à inovação e altera a Lei no 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a Lei no 6.815, de 19 de agosto de 1980, a Lei no 8.666, de 21 de junho de 1993, a Lei no 12.462, de 4 de agosto de 2011, a Lei no 8.745, de 9 de dezembro de 1993, a Lei no 8.958, de 20 de dezembro de 1994, a Lei no 8.010, de 29 de março de 1990, a Lei no 8.032, de 12 de abril de 1990, e a Lei no 12.772, de 28 de dezembro de 2012, nos termos da Emenda Constitucional no 85, de 26 de fevereiro de 2015. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 jan. 2016. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13243.htm.

BRASIL. **Marco legal da ciência, tecnologia e inovação**. Brasília, DF, 2018. 80 p.

CAPDEVILLE, G.; ALVES, A. A.; BRASIL, B. S. A. F. **Modelo de inovação e negócios da Embrapa Agroenergia**: gestão estratégica integrada de P&D e TT. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2017. 45 p. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 24). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085322.

CAVALCANTI, A. R. **Modelo conceitual para transferência de tecnologia na Embrapa**: um esboço. Brasília, DF: Embrapa, 2015. (Embrapa-DPD. Texto para discussão, 44).

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017 = Report 2017**. São Paulo, 2017. 80 p.

DERETI, R. M. **Fundamentos para o processo de transferência de tecnologia na Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. (Embrapa Florestas. Documentos, 149). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/312978.

DERETI, R. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; DOLIVEIRA, D. D.; MENARIM, A.; BONATTO, A. J. **Planejamento participativo para implementação de sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 4 p. (Embrapa Florestas, Documentos, 241). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/578236.

GOULART, I. C. G. R.; MARTINS, G.; SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; DERETI, R. M.; IEDE, E. T. **Diagnóstico preliminar das demandas por tecnologias florestais em cooperativas agropecuárias do Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 50 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 234). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/931325.

MAEDA, S. Recomendações de adubação mineral. In: SANTOS, P. E. T. dos (ed.). **Sistemas de produção Embrapa**: cultivo de eucalipto. 4. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. (Embrapa Florestas. Sistemas de produção, 4). Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados.

OCDE. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Manual de Oslo**: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3. ed. Rio de Janeiro: FINEP, 2005.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos. **Escolha de cultivares de eucalipto em função do ambiente e do uso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 11 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 316). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/977455.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 45 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 129). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/304430.

PINTO, A. F.; SANTAROSA, E. Os sistemas silvipastoris como forma de introdução do componente florestal nos sistemas de produção agropecuária do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 29., 2015, Foz do Iguaçu. **Desafios e oportunidades profissionais**: anais. Curitiba: CONFEA-PR, 2015. 5 p. CD-ROM.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; BAGGIO, A. J. **Como estabelecer com sucesso uma unidade de referência tecnológica em sistema silvipastoril**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 26 p. (Embrapa Florestas, Documentos, 83). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/308245.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L.; DERETI, R. M.; **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras**: implantação e manejo. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 48 p.

QUEIROZ, D. L.; BARBOSA, L. R.; IEDE, E. T. Principais pragas e seu controle. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 87-101. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

RODIGHERI, H. R.; SILVA, H. D. da; TUSSOLINI, E. L. **Indicadores de custos, produtividade e renda de plantios de eucaliptos para energia na região de Guarapuava, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 7 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 179).

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA. C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária**: AMBITEC-AGRO. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 95 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34).

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C.; IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, I. **Sistema de avaliação de impacto social da inovação tecnológica agropecuária (Ambitec-Social)**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 30 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 35).

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 19, n. 3, p. 349-375, 2002.

ROGERS, E. **Diffusion of innovations**. New York: The Free Press, 1995. 518 p.

SANTAROSA, E.; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C. Cultivos florestais para produção de biomassa e energia. In: BERTOL, O. J.; COLOZZI FILHO, A.; BARBOSA, G. M. de C.; SANTOS, J. B. dos; GUIMARÃES, M. de F. (ed.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS, NEPAR, 2019. p. 305-310.

SANTAROSA, E.; FERREIRA PINTO, A.; GOULART, I. C. G. dos R.; PENTEADO JUNIOR, J. F. **Capacitação em adequação ambiental, manejo e conservação de recursos naturais**: análise metodológica e prospecção de demandas. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 29 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 245).

SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). Transferência de tecnologia florestal. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 138 p. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

SANTOS, P. E. T. dos (ed.). **Sistemas de produção Embrapa**: cultivo de eucalipto. 4. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. (Embrapa Florestas. Sistemas de produção, 4). Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Critérios para escolha de eucaliptos para plantio. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 23 -26. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

WENDLING, I. Produção de mudas de eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 41-42. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1010933.

29

O eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Amazônia

Maurel Behling
Gladys Beatriz Martínez
Arystides Resende Silva
Tadário Kamel de Oliveira
Henrique Nery Cipriani

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

A intensificação na recuperação de pastagens degradadas da região Amazônica é a principal ação de modernização e possibilita aumentar e diversificar a produção por meio da utilização sustentável dos recursos naturais, baseadas na conservação de solo e água, maximizando o uso dos recursos e a produção agropecuária. Nesse contexto, podem-se destacar práticas agropecuárias, tais como o sistema de plantio direto na palha (SPD), sistema já consolidado e adotado há bom tempo e, atualmente, a diversificação de culturas e das atividades associadas ao SPD mediante sistemas integrados de produção agropecuária.

As áreas de pastagens degradadas passaram a ser uma oportunidade de negócios por modernos sistemas de produção agropecuários (Fernandes, 2015). Logo, o aproveitamento do grande contingente de áreas degradadas e a necessidade de continuar produzindo na região Amazônica tornam os sistemas integrados de produção agropecuária a grande oportunidade para a recuperação de áreas improdutivas, conciliando produção com sustentabilidade ambiental. Segundo os dados levantados pelo Kleffmann Group em 2016, os sistemas de integração ocupam uma área superior a 1,5 milhão de hectares na região Amazônica, onde a modalidade de integração lavoura-pecuária (ILP) é predominante, ou seja, superior a 90% da área (ILPF..., 2017). As modalidades que contemplam o componente florestal, em sua maioria, são adotadas por pequenos e médios produtores, visando ao bem-estar animal e, quando possível, à exploração comercial da madeira e de produtos não madeireiros. O eucalipto é a espécie mais utilizada devido à maior disponibilidade de materiais (clones e seminais) e o domínio sobre o sistema de produção, acarretando menor risco para o produtor.

Nos últimos anos foi intensificada na Amazônia, pela Embrapa e seus parceiros, a estratégia de implantação de Unidades de Referência Tecnológicas (URT) em sistemas ILPF, para divulgar resultados de pesquisa aos produtores e à rede de Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater), a fim de incentivar e ampliar a área plantada com esses sistemas integrados de produção agropecuária na Amazônia. As experiências com sistemas ILPF realizadas nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima apresentam resultados promissores. Atualmente existem mais de 20 URTs com ILPF em toda região Amazônica, a qual permite a geração e divulgação de resultados técnicos e científicos aos produtores e à rede de assistência técnica e extensão rural, visando oferecer tecnologias e conhecimentos necessários à implantação desses sistemas de integração. Nessas URTs já existe grande quantidade de informações consolidadas sobre o crescimento e produção do eucalipto em diferentes arranjos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

Alguns resultados de sistemas de ILPF em URTs na Amazônia

No Acre, as unidades demonstrativas localizam-se nos municípios de Plácido de Castro, Rio Branco e Senador Guiomard, compostas por diversas espécies arbóreas nativas e exóticas em diferentes situações e modalidades de sistemas integrados. No município de Plácido de Castro, AC, um sistema de integração pecuária-floresta (IPF), implantado pela fazenda Vale Verde e uma empresa privada, em dezembro de 2012, destacam-se as espécies arbóreas *Eucalyptus pellita*, *E. urophylla* e as nativas paricá (*Schizolobium amazonicum*) e mulateiro (*Calicophyllum spruceanum*). A unidade avaliada pela Embrapa trata-se de um sistema de IPF com 2,4 ha de área, no arranjo 3 m x 2 m com 4 linhas de árvores distanciadas 20 m (690 árvores ha^{-1}). Aos 5,5 anos de idade a porcentagem de sobrevivência foi 75% para as árvores de eucaliptos e de até 90% para as espécies nativas. Entretanto, com desempenhos superiores em altura e diâmetro, *E. urophylla e E. pellita* (Figura 1) demonstraram uma produção de madeira acima de 36 m^3 ha^{-1} (Oliveira et al., 2012). Na avaliação das árvores de *E. urophylla*, de acordo com a sobrevivência, 50% das 518 árvores remanescentes por hectare, cerca de 260 indivíduos, poderiam ser indicados para a produção de estacas e mourões para cerca, a serem tratados e utilizados. Distribuídas em classes diamétricas, 56% dessas árvores produziriam estacas e 44% mourões (Figura 1), o que equivale a 405 estacas e 115 mourões por hectare, considerando o corte até seis metros de altura de cada árvore.

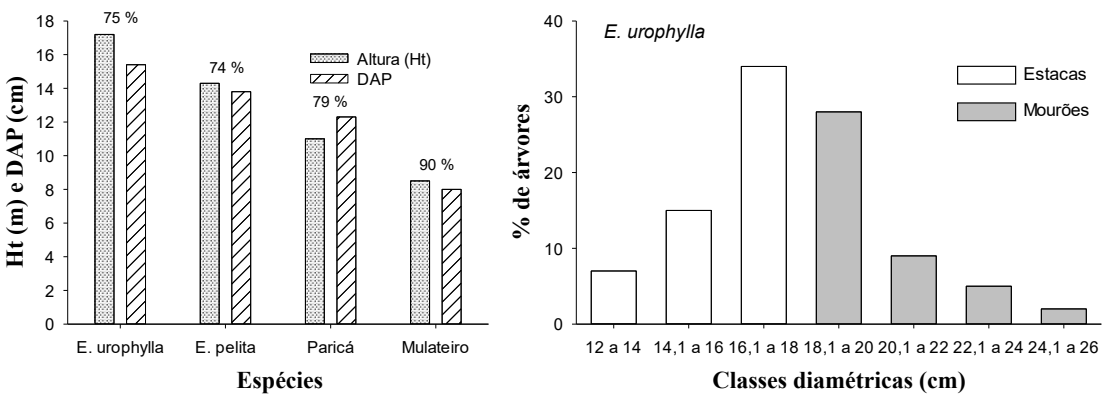


Figura 1. Altura e diâmetro a altura do peito (DAP) de espécies arbóreas e porcentagem de árvores em diferentes classes de *E. urophylla*, aos cinco anos e meio de idade, em sistema de IPF, na Fazenda Vale Verde (Plácido de Castro, AC). Os valores sobre as barras representam o percentual de sobrevivência das espécies arbóreas.

Em Macapá, AP, o híbrido *"urograndis" (Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*) foi plantado em renques de linhas duplas, no espaçamento de 2 m x 2 m e 10 m entre os renques, onde foram cultivados milho (*Zea mays* L.) ou sorgo (*Sorghum bicolor*). No primeiro ano o eucalipto apresentou o maior desenvolvimento em altura e DAP, comparado com o crescimento de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e de tachi-branco (*Sclerolobium paniculatum*) plantadas em linhas simples (12 m x 2 m).

No Mato Grosso sistemas de ILPF vêm ganhado importância nos últimos anos e, na porção amazônica do estado, destacam-se as unidades demonstrativas localizadas nos municípios de Brasnorte, Nova Canaã do Norte e Sinop. Na Fazenda Gamada em Nova Canaã do Norte, o clone H13 do híbrido "urograndis" foi plantado em cinco talhões com dimensões de 250 m x 200 m, com arranjo diferente em cada talhão. Os arranjos que compõe cada um dos talhões são de renques de linhas simples (2 m x 20 m), duplas ((3 m x 2 m) + 20 m), triplas ((3 m x 2 m) + 20 m) e o monocultivo (4 m x 3 m). As linhas/faixas das árvores foram plantadas na orientação Leste-Oeste. A área total do sistema ILPF é 70 ha, implantado em janeiro de 2009. Foi cultivado arroz no 1º ano agrícola e soja no 2º e 3º anos no sistema ILPF. Na safrinha do 3º ano agrícola, foram introduzidas as forrageiras *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, *Brachiaria ruziziensis* e o Híbrido Convert HD, em talhões de 5 ha onde, 50 dias depois, foi iniciado o pastejo rotativo dos bovinos de corte, resultante do cruzamento da raça Rubia Gallega com Nelore (F1), em fase de recria, com ganho médio diário de 1,04 kg dia^{-1}. Aos cinco anos de idade, a altura total das árvores foi maior no monocultivo e o diâmetro das árvores foi maior no arranjo de linhas simples. No renque triplo as árvores da linha central apresentaram crescimento inferior ao das linhas laterais. O volume por árvore foi maior no arranjo de linhas simples, mas o volume por hectare foi maior no monocultivo, com o incremento médio anual (IMA) de 49 m^3 ha^{-1}. O arranjo de linhas simples atingiu 42%, o duplo 60% e triplo 81% da produção do monocultivo de eucalipto (Figura 2). Em 2015 foi realizado o primeiro desbaste, com remoção de 30% das árvores de eucalipto na URT, tendo sido tratadas para mourão de cerca, gerando uma economia de R$ 5,00 por mourão ao proprietário. Em média, cada árvore produziu quatro mourões. No arranjo de linha simples foram obtidos 75 mourões por hectare, no duplo 130 e no triplo 173.

Na Fazenda São Paulo, município de Brasnorte, MT, em um sistema de IPF com área de 50 ha, implantado em dezembro de 2014, o sistema silvipastoril com eucalipto é um dos pilares do sistema. Os arranjos envolveram o clone híbrido H13 "urograndis", *E. cloeziana* e *Corymbia citriodora*, em linha simples no espaçamento 8 m x 2 m, totallizando 625 árvores por hectare, com 25% de ocupação da área. Outro arranjo foi composto por material destinado para serraria (Clone I144) e outro para energia/lenha (Clone VM01) em configuração de linhas simples para serraria (28 m x 4 m) e duplas para lenha ((4 m x 2 m) + 24 m). O arranjo composto ((28 m x 4 m) + ((4 m x 2 m) + 24 m) ficou com 12 m entre renques de linhas simples e linhas duplas (Figura 3),

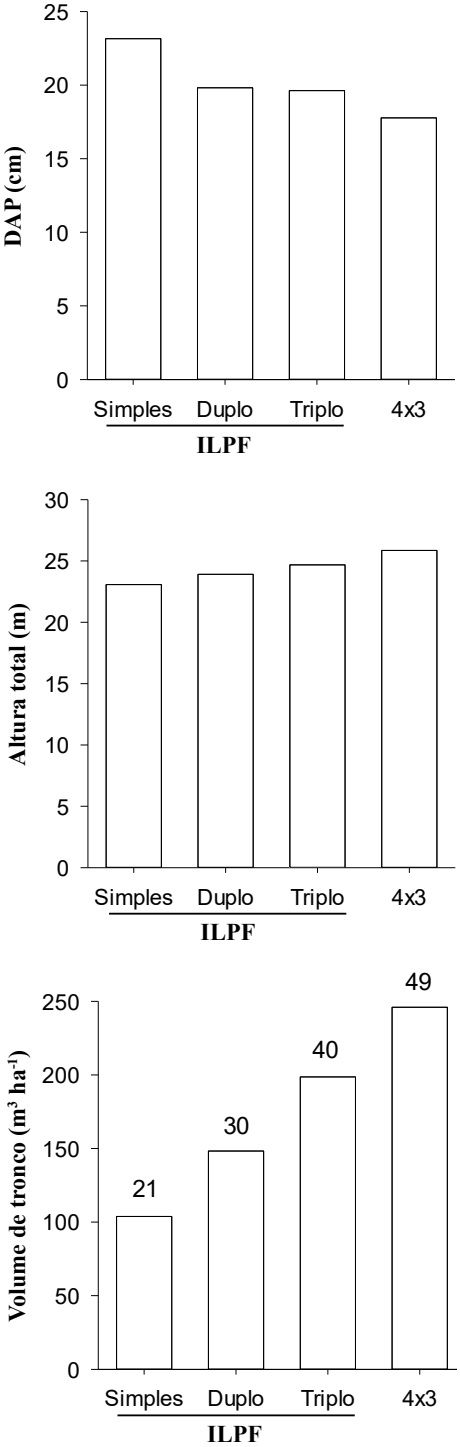


Figura 2. Crescimento das árvores de eucalipto (H13) em renques simples (20 m x 2 m), duplos e triplos ((3 m x 2 m) + 20 m) no sistema ILPF e no monocultivo (4 m x 3 m), aos cinco anos de idade. Fazenda Gamada, Nova Canaã do Norte, MT. Os valores sobre as barras representam o incremento médio anual, de madeira.

Figura 3. Imagem aérea do arranjo composto pelo clone I144 em linhas simples (28 m x 4 m) e o clone VM01 em linhas duplas ((4 m x 2 m) + 24 m). Fazenda São Paulo, Brasnorte, MT.

totalizando 446 árvores por hectare, com 28,5% de ocupação da área (89 de I144 e 357 de VM01; representando 7,1% e 21,4%, respectivamente). Ambos os arranjos foram consorciados com forrageiras (mistura de gramíneas e leguminosas) cultivadas nas entrelinhas, para terminação/engorda de bovinos. Durante os primeiros quatro anos foi possível a manutenção de uma taxa anual de lotação superior a duas UA ha^{-1} e o crescimento em volume de madeira das árvores foi satisfatório. Os materiais seminais de *E. cloeziana* e *C. citriodora* obtiveram um incremento médio anual de 19 m^3 ha^{-1} e 24 m^3 ha^{-1}, respectivamente. O clone H13, no espaçamento 8 m x 2 m, e VM01+I144, no arranjo composto, apresentaram o incremento médio anual de 38 m^3 ha^{-1} (Figura 4).

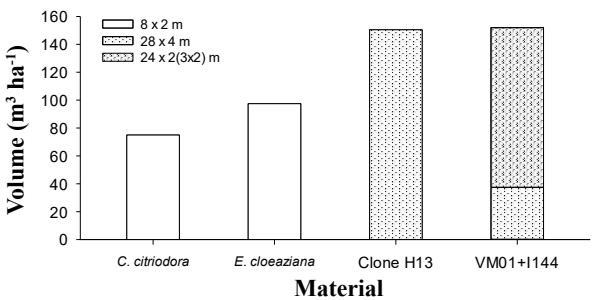


Figura 4. Volume de madeira dos materiais genéticos de eucalipto em função do espaçamento/arranjo de plantio, aos quatro anos de idade. Fazenda São Paulo, Brasnorte, MT.

Já no experimento ILPF da Embrapa Agrossilvipastoril em Sinop, MT (Tabela 1), implantado em novembro de 2011, com dez sistemas de produção (seis com o componente florestal), no delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições, em uma área de 72 ha (Tabela 1 e Figura 5), no quarto ano de implantação dos sistemas, houve redução na produtividade da soja e milho. Independentemente de ter ocorrido ou não pastejo (pecuária) nos anos anteriores, a produtividade da soja foi reduzida em 18% e a do milho em 37% em comparação à lavoura exclusiva (Magalhães et al., 2018). Quanto ao crescimento das árvores, houve diferenças significativas para valores da área basal e do volume por hectare para o sistema ILPF (9LPF) que foi desbastado com a remoção de 70% das árvores, convertido de renque de linhas triplas para linha simples. O volume de madeira retirada no sistema ILPF, após o desbaste das linhas externas, totalizou 30 m^3 ha^{-1} de madeira.

Tabela 1. Tratamentos com o componente florestal do experimento ILPF-corte implantado na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril em 2011.

Tratamento	Descrição
1F	Eucalipto no espaçamento 3,5 m x 3 m, com 952 árvores ha^{-1}.
6LF	Lavoura-Floresta cultivado anualmente com soja e milho+braquiária.
7PF	Pecuária-Floresta com *Brachiaria brizantha*, cultivar Marandu.
8LPF	Lavoura-Pecuária-Floresta com cultivo de soja e milho+braquiária nos dois primeiros anos e seguido de dois anos de pecuária (*Brachiaria brizantha*, cultivar Marandu) retornando para lavoura por mais dois anos e , assim, sucessivamente. No quinto ano foi desbastado para renque de linhas simples.
9LPF	Lavoura-Pecuária-Floresta com pecuária (*Brachiaria brizantha*, cultivar Marandu) nos dois primeiros anos e seguido de dois anos de cultivo de soja e milho+braquiária retornando para pecuária por mais dois anos e, assim, sucessivamente. No quarto ano foi desbastado para renque de linhas simples.
10LPF	Lavoura-Pecuária-Floresta cultivado anualmente com soja e milho+braquiária, após a colheita do milho há entrada dos bovinos, por período de dois meses.

Observações: com exceção dos tratamentos 8LPF e 9LPF, os demais receberam desbaste seletivo de 50% das árvores no quinto ano após o plantio. O eucalipto utilizado no experimento é o híbrido "urograndis" clone H13 e nos sistemas de integração o arranjo inicial foi de renques triplos espaçados de 30 m (3 m x 3,5 m, com 270 árvores ha^{-1}). A pecuária foi conduzida no sistema de recria e engorda de novilhos Nelore (*Bos taurus indicus*) não castrados. A parcela experimental tem um hectare no tratamento 1F e dois hectares nos demais.

Foto: Gabriel Rezende Faria

Figura 5. Imagem aérea da área experimental do ILPF-corte da Embrapa Agrossilvipastoril, em 2018.

O volume total de produção do eucalipto em monocultivo (F), aos 56 meses de idade, foi 146 m^3 ha^{-1}, com um incremento médio anual de 31 m^3 ha^{-1}, o que pode ser considerado baixo em comparação com a média nacional (39 m^3 ha^{-1} para o híbrido "urograndis", mas acima da média do estado de Mato Grosso (24 m^3 ha^{-1}; segundo Shimizu et al., 2007). Para os sistemas de integração, a produtividade aos 56 meses de idade não diferiu entre eles e foi, em média, de 38 m^3 ha^{-1}, com o IMA de 8 m^3 ha^{-1} (Magalhães et al., 2018). Já aos 84 meses, após todos os tratamentos terem sido desbastados o volume acumulado de produção de madeira do eucalipto em monocultivo (F) foi 282 m^3 ha^{-1}, com o IMA de 40 m^3 ha^{-1} e para os sistemas integrados que receberam desbaste seletivo de 50% (6LF, 7PF e 10LPF) a média foi 96 m^3 ha^{-1} com o IMA de 13 m^3 ha^{-1} (Figura 6A). Já nos sistemas integrados que receberam o desbaste sistemático e foram convertidos em renques de linhas simples (8LPF e 9LPF), o volume acumulado foi 79 m^3 ha^{-1} com o IMA de 11 m^3 ha^{-1} (Figura 6B).

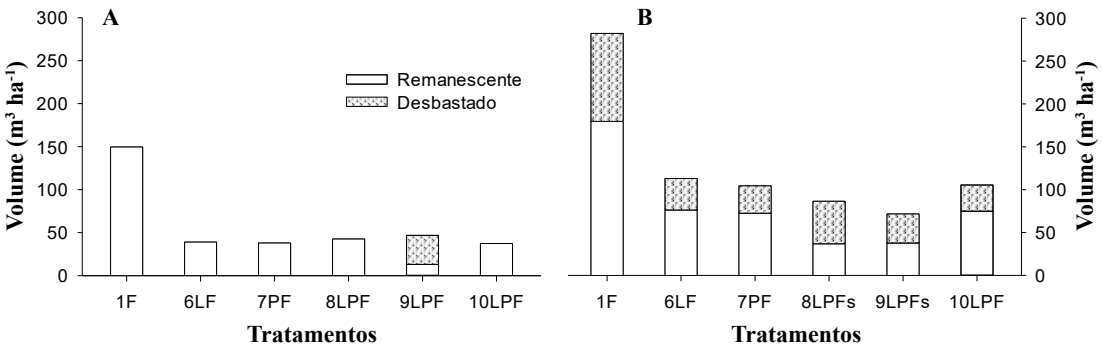


Figura 6. Volume acumulado de madeira de eucalipto em função dos tratamentos, aos 56 meses (A) e 84 meses (B) de idade, Sinop, MT.

No Pará, as experiências da Embrapa Amazônia Oriental concentram-se nos municípios de Terra Alta, Paragominas, Santarém/Belterra e Marabá. A recuperação de pastagens degradadas, por meio da ILPF, é adotada por pecuaristas pioneiros e, em geral, avançados tecnicamente, ou por produtores que vislumbram, na integração, a possibilidade de aumentar o retorno econômico de sua atividade (Fernandes et al.,

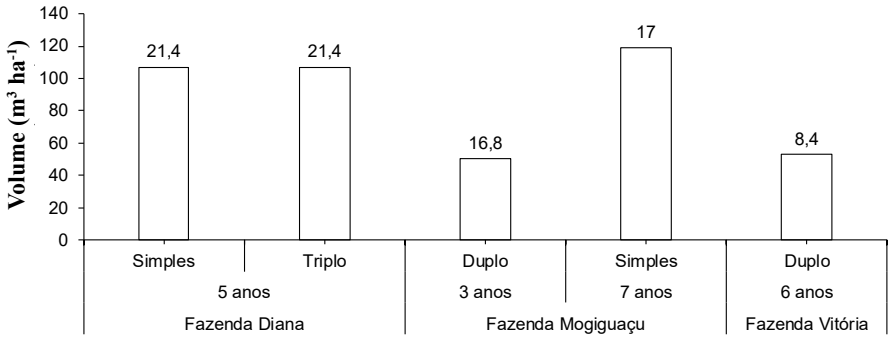


Figura 7. Volume de madeira de eucalipto em função do arranjo de plantio, faixas de linhas simples, duplas ou triplas e idade das árvores nas respectivas fazendas, em Paragominas, PA. Os valores sobre as barras representam o incremento médio anual, de madeira.

2008). Nas URTs espécies de eucalipto são testadas em arranjos variados que permitem o cultivo intercalar de lavouras e forragem. A cultura anual principal utilizada é o milho em consórcio com *Brachiaria humidicola* ou *Brachiaria ruziziensis*, posteriormente submetidas ao pastejo temporário com lotação de 2,5 UA ha^{-1} a 3,0 UA ha^{-1} (Fernandes et al., 2010).

Em Paragominas há três URTs com eucalipto em suas configurações. Na Fazenda Vitória, o eucalipto para energia foi implantado em 2009 em uma área de 4,2 ha, com o clone GG100 em renques de linhas duplas de 22 m ((3 m x 3 m) + 22 m), total de 267 árvores ha^{-1}. Entre os renques foram cultivados milho em 2009 (4.875 kg ha^{-1}), soja em 2010 (1.723 kg ha^{-1}) e milho novamente em 2011 (5.180 kg ha^{-1}) e 2012 (5.409 kg ha^{-1}) e na safra 12/13 o sistema foi convertido em silvipastoril com *Brachiaria ruziziensis* e Piatã. Quanto ao crescimento das árvores, aos seis anos de idade, o IMA foi 8,41 m^3 ha^{-1} (Figura 7). O clone GG100 não teve uma boa adaptação, ocorrendo mortalidade superior a 40% devido às condições edafoclimáticas da região e, portanto, a URT foi desativada.

Na Fazenda Diana o clone I144 foi plantado em 2014 com o propósito de produzir madeira para energia e serraria. Foram adotadas duas configurações, uma área de 120 ha com renques de linhas simples (11 m x 1,75 m, 519 árvores ha^{-1}) no sistema

Foto: Vinicius Braga

Figura 8. ILPF na fazenda Diana em 2018, em Paragominas, PA.

silvipastoril com mombaça para criação de novilhas girolando, 2,5 UA ha^{-1} ao longo do ano (Figura 8). A outra área de 100 ha com renques de linhas duplas de 15 m ((3 m x 1,75 m) + 15 m), 635 árvores ha^{-1}, foi produzido milho para silagem no primeiro ano (28 Mg ha^{-1}) e convertido no sistema silvipastoril com mombaça para criação de novilhas girolando, 2,5 UA ha^{-1} ao longo do ano. O IMA das árvores aos 5 anos em ambas as áreas foi superior aos 20 m^3 ha^{-1} (Figura 7).

Na Fazenda Mogiguaçu também foram adotadas duas configurações com o clone I144, para produzir madeira para energia. Em 2010 foi implantada uma área de 100 ha com renques de linhas simples (10 m x 3 m), 333 árvores ha^{-1}, foi produzido milho para silagem no primeiro ano e convertido no sistema silvipastoril, com mombaça para criação de novilhas girolando, 2,5 UA ha^{-1} ao longo do ano. Já em 2014 foram implantados mais 100 ha com renques de linhas duplas de 11 m ((3 m x 1,75 m) + 11 m), com a densidade de plantio de 816 árvores ha^{-1}, onde também foi produzido milho para silagem no primeiro ano e convertido no sistema silvipastoril com mombaça para criação de novilhas girolando, 2,5 UA ha^{-1} ao longo do ano. O IMA das árvores na área implantada em 2010, aos 7 anos de idade, foi 17 m^3 ha^{-1} e na área implantada em 2014, aos 3 anos de idade, foi 16,8 m^3 ha^{-1} (Figura 7).

Em Roraima, as URTs estão nos municípios de Alto Alegre, Boa Vista e Mucajaí. No município de Boa Vista, em Roraima, em região de Savana (solos de baixa fertilidade), a Embrapa Roraima mantém diferentes sucessões de culturas anuais (milho, arroz, soja e feijão caupi) consorciados com eucalipto. Em área de produtor obteve-se 1.260 kg ha^{-1} de caupi, submetendo a área ao pastejo de *Brachiaria ruziziensis,* aos 80 dias após a colheita do feijão. No segundo ano, o consórcio da forragem foi com a cultura do milho, obtendo-se quatro toneladas de grãos por hectare.

Em Rondônia, estudos estão sendo realizados nas URTs em Porto Velho (ILP, IPF e ILPF) e Vilhena (ILP e ILPF). Em Porto Velho, a URT de 10 ha voltada para pecuária

leiteira foi implantada em outubro de 2012, com lavoura de milho cultivada no sistema Santa Fé em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* e *B. brizantha* cv xaraés, sendo metade da área com cada forrageira. A área foi subdividida em renques de eucaliptos implantados em consórcio com a lavoura de milho e com as forrageiras, nos espaçamentos de 18 m, 30 m e 42 m entre os renques. Os renques foram compostos por quatro linhas de eucalipto com os clones VM01 e GG100, nos espaçamentos 3,5 m x 2 m e 3,5 m x 3 m, ou seja, 12 combinações de arranjos espaciais, consorciados em dado momento com lavouras, e pastagem durante a entressafra agrícola. Aos 51 meses o clone VM01 apresentou maior sobrevivência e maior volume por área que o GG100, acometido pela mancha-de-phaeophleospora um ano após o plantio (Cipriani et al., 2015b). Já em Vilhena o clone GG100 obteve a produtividade anual de madeira de 12 m^3 ha^{-1} na ILPF, com renques de linhas triplas de 16 m ((3 m x 3 m) + 16 m), 450 árvores ha^{-1}, enquanto no plantio homogêneo a produtividade anual de madeira foi 65 m^3 ha^{-1} (3 m x 1,5 m) aos 5,6 anos de idade (Cipriani et al., 2015a).

Consideração final

As experiências na Amazônia com o eucalipto em sistemas integrados são promissoras. O eucalipto é o principal componente florestal para atender as demandas dos sistemas ILPF. Há uma grande expectativa em torno do Brasil como o maior produtor e exportador mundial de alimentos nas próximas décadas. No entanto, tal protagonismo só será possível mediante a expansão do agronegócio sobre as áreas agrícolas já consolidadas na Amazônia. Entretanto, esse crescimento deve ser baseado em modelos produtivos sustentáveis, impedindo a geração de barreiras não tarifárias internacionais, relacionadas a potenciais prejuízos ambientais. O sistema ILPF exercerá papel central neste cenário, para otimizar a utilização dos fatores de produção e diversificar a geração de produtos que, em última análise, contribui para que o agropecuarista suporte melhor as oscilações do mercado de commodities agrícolas, reduzindo o risco econômico e aumente as possibilidades de sua permanência na atividade.

Referências

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; GODINHO, V. de P. C. **Fatores de forma para eucaliptos em Vilhena, Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2015a. (Embrapa Rondônia. Circular técnica, 143).

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; PASSOS, A. M. A. dos; MORAES, K. S.; ALMEIDA, A. L. C.; REIS, M. C. dos. Initial growth of eucalypt clones in different spacings within strips. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCKFOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015b.

FERNANDES, P. C. C.; GRISE, M. M.; ALVES, L. W. R.; SILVEIRA FILHO, A.; DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico e modelagem da integração lavoura-pecuária na Região de Paragominas, PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 31 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 327).

FERNANDES, P. C. C.; MARTINEZ, G. B.; ALVES, L. W. R. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta em plantio direto na Região Norte**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 30 p.

FERNANDES, P. C. C. **Projeto integração lavoura-pecuária-floresta na região Norte do Brasil pela Embrapa (2007-2012)**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. 44 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 415).

ILPF em números: região 02 - MT, GO e DF. [Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2017]. 16 p. Folder. Disponível em: http:// ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157581/1/2017- cpamt-ilpf-emnumeros-reginal-2.pdf.

MAGALHÃES, C. A. S.; PEDREIRA, B. C.; TONINI, H.; FARIAS NETO, A. L. Crop, livestock and forestry performance assessment under different production systems in the north of Mato Grosso, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 6, p. 2085-2096, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-018-0311-x.

OLIVEIRA, T. K.; LUZ, S. A.; SANTOS, F. C. B.; OLIVEIRA, T. C.; LESSA, L. S. **Experiências com implantação de unidades de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2012. 43 p. (Embrapa Acre. Documentos, 126).

SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. **Diagnóstico das plantações florestais no Mato Grosso**. Cuiabá: Central de Textos, 2007. 63 p.

30

Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) como alternativa para diversificação de renda no Semiárido brasileiro

Marcos Antônio Drumond
Jorge Ribaski
Visêldo Ribeiro de Oliveira
José Alves Tavares

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

A região Semiárida brasileira é a maior do mundo e tem uma área de 982.566 km^2, que corresponde a 18,2% do território nacional, 53% da região Nordeste e abrange 1.133 municípios (Baptista; Campos, 2013). A Caatinga, que ocupa a maior parte do semiárido, é o único bioma exclusivamente brasileiro e apresenta grande diversidade de paisagens, com riqueza biológica e endemismo, mas sofre com a sua contínua devastação e limitações climáticas, no que se refere à distribuição de chuvas e condições edáficas (Figura 1).

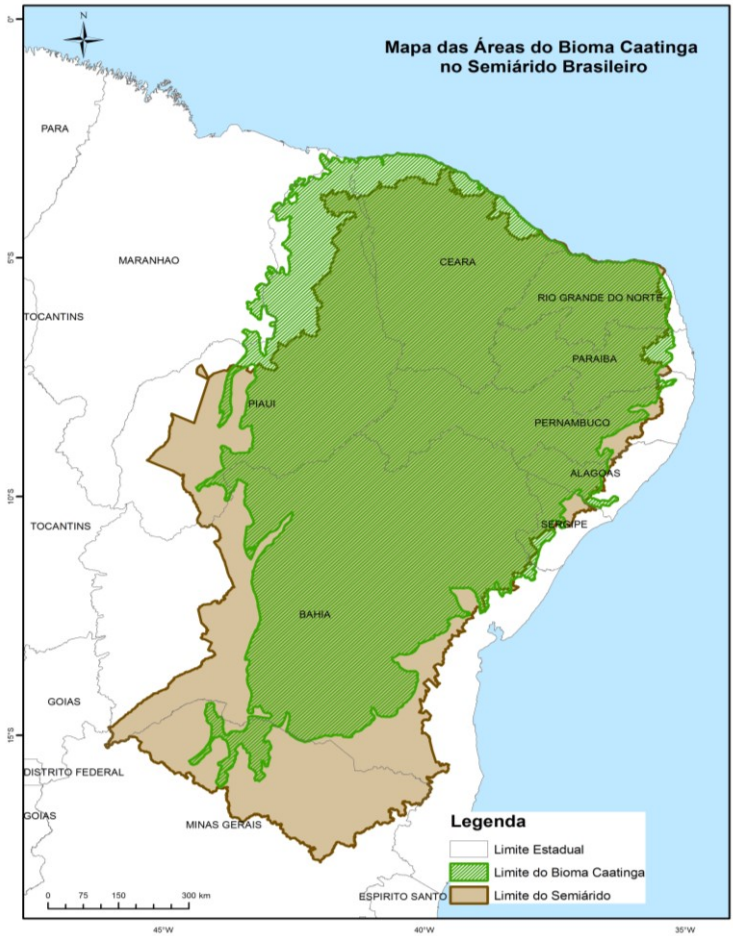


Figura 1. Delimitação do bioma Caatinga no Semiárido brasileiro.
Fonte: Laboratório de sensoriamento da Embrapa Semiárido. Adaptação de Brasil (2005) e IBGE (2004).

Os diversos trabalhos sobre ILPF têm como principal característica a inclusão de espécies arbóreas consorciadas com culturas agrícolas incluindo ou não o componente animal, tendo como um dos objetivos resolver problemas ambientais e socioeconômicos e de produção de alimentos, para consumo próprio ou para animais, na forma de grãos ou de forragem. Entre as culturas vegetais, destacam-se as de ciclo anual, perenes ou semiperenes, adotando-se práticas de manejo e modelos compatíveis com os padrões culturais da população local. Estes, por sua vez, juntamente com as espécies utilizadas, apresentam diversos elementos de sustentabilidade ecológica, tais como a redução da erosão do solo, o aumento do teor de matéria orgânica e umidade no solo, a redução da temperatura do solo, entre outros.

Em regiões onde não há tantas limitações edafoclimáticas, como é o caso da região Amazônica e Litorânea, os sistemas de ILPFs têm sido bastante promissores. No entanto, na região Semiárida, com as limitações já apresentadas, deve-se optar por espécies arbóreas introduzidas, sendo um bom exemplo a gliricídia (*Gliricidia sepium*), a leucena (*Leucaena leucocephala*) e algaroba (*Prosopis juliflora*) (Drumond; Morgado, 2004) e algumas espécies nativas de reconhecidos estudos como a maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*), a faveleira (*Cnidoscolus quercifolius*), para a alimentação animal, salvaguardando alguns cuidados como a oferta para os animais, na forma de feno, além de gramíneas como o capim-buffel (*Cenchrus ciliares*) e o capim-digitaria (*Digitaria decumbens*). No que se refere às culturas alimentares, pode-se destacar o milho, o feijão, abóboras, mandioca, já comumente utilizadas pelos produtores nordestinos.

Conforme pesquisa realizada pela Embrapa e parceiros públicos e privados, com objetivo de avaliar o grau de adoção das tecnologias de integração lavoura-pecuária-floresta no País, foram apresentados alguns dados sobre a realidade dos sistemas de ILPF na região Nordeste do Brasil. Dos 493 produtores rurais entrevistados, onde a bovinocultura era a atividade predominante, 60% já conheciam o conceito de integração lavoura-pecuária-floresta, embora a adoção do sistema na região ainda seja baixa, em média de 41%, alguns estados apresentam adoção acima dessa média, como é o caso de Alagoas (51%) e Sergipe (44%) (Nóbrega, 2018).

Vale ressaltar que, dentre os produtores entrevistados e que já adotavam sistemas de ILPF, 78% disseram estar satisfeitos com esta prática. Os estados que apresentaram maiores porcentagens de aprovação foram o Rio Grande do Norte (89%), Bahia (87%) e Ceará (85%). Entre aqueles que já adotavam ou pretendia adotar os sistemas integrados, as motivações citadas com maior frequência foram as de promover a recuperação de pastagens, fazer rotação de culturas agrícolas, visando reduzir o impacto ambiental.

A Chapada do Araripe está inserida no bioma Caatinga, sendo formada por um mosaico vegetacional onde predominam manchas de Floresta Ombrófila e Estacional, Cerrado, Caatinga e carrasco, resultantes da heterogeneidade ambiental, modelada no decorrer de diversos períodos geológicos (Giulietti et al., 2004).

Esta região se constitui em um importante planalto na divisa dos estados de Pernambuco, Piauí e Ceará. No lado pernambucano, vários municípios e dezenas de fábricas, fabriquetas e olarias exploram um mineral bruto, a gipsita, que representa a principal atividade econômica da região. A região da Chapada do Araripe destaca-se como grande produtora de gesso e demanda a utilização de fontes energéticas durante o processo de industrialização. Atualmente, a principal fonte energética da região tem sido a madeira extraída da Caatinga. Estudos recentes têm demonstrado desmatamento excessivo relacionado a áreas de desertificação. Com intuito de reduzir o desmatamento e continuar impulsionando o polo de produção de gesso da região, o sistema ILPF com eucalipto na base florestal vem sendo difundido como alternativa para gerar energia para as indústrias.

A crescente demanda de biomassa energética do polo gesseiro do Araripe pernambucano indicam que dos 1.901.554 metros estéreos de lenha que foram utilizados em 2007, para atender as demandas industrial e doméstica nesta região, 1.215.858 são consumidos pela indústria de processamento da gipsita, representando 92% da demanda industrial (Toniolo et al., 2007). Estudos realizados sobre o bioma Caatinga, indicam que, pelo menos, 46% dessa vegetação já foi desmatada até 2008. Dados de monitoramento desse desmatamento realizado entre 2002 e 2008 revelam a área de 16.576 km^2, o equivalente a 2% da Caatinga, representando uma projeção anual de 0,33% da retirada de sua cobertura vegetal (Brasil, 2010). Resultados semelhantes também foram encontrados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Especais (INPE, 2015), por meio de um mapeamento utilizando os anos de 2013/2014 do satélite Landsat-8, onde foi constatado para a Caatinga 45,06% de área degradada.

Dentro do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o plantio do eucalipto com culturas tradicionais da região, como a mandioca e feijão-caupi, pode ser realizado com o intuito de amortizar os investimentos feitos para a implantação de florestas energéticas, bem como incentivar o consórcio de espécies arbóreas de rápido crescimento com forrageiras adaptadas à região, a fim de garantir a estabilidade da produção e elevar a produtividade, diversificar a produção, melhorar a fertilidade do solo e aumentar a oferta de forragem de boa qualidade. O uso de espécies arbóreas garante a circulação de nutrientes e o aporte significativo de matéria orgânica, condição essencial para se cultivar, de maneira continuada, os solos tropicais (Drumond et al., 2010).

O presente capítulo teve por objetivo avaliar os efeitos da densidade de plantio de eucalipto consorciado com capim-digitaria sobre a produtividade de madeira e de forragem, na Chapada do Araripe, PE.

Material e métodos

O ensaio foi instalado na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), localizada no município de Araripina, PE (Latitude: 7°27'41"S, Longitude: 40°24'22"O, Altitude: 834 m), em fevereiro de 2006. A precipitação pluviométrica média anual da região é 752,5 mm, concentrada nos meses de fevereiro, março e abril, com temperatura média de 26 °C, evaporação de 1.127 mm/ano e umidade relativa do ar média anual de 55,2%.

A área experimental foi submetida previamente à aração e gradagem e subsolagem a 40 cm de profundidade, na linha de plantio do eucalipto, sendo incorporadas ao solo 2 t/ha de calcário dolomítico, e realizada uma adubação de fundação com 150 g/cova de NPK (06:24:12).

Numa área de dois hectares, inicialmente o eucalipto (híbrido de *Eucalyptus brassiana* x *E. urophylla*) foi plantado no espaçamento de 3 m x 3 m e nas entrelinhas foram cultivadas duas fileiras de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Aos 18 meses após o plantio de eucalipto, o capim-digitaria (*Digitaria decumbens* Stent.) foi plantado nas entrelinhas, por meio de mudas. Aos 27 meses, para favorecer o estabelecimento do capim, visando à redução do sombreamento, procedeu-se a um desbaste de 50% das plantas de eucalipto, deixando as plantas remanescentes espaçadas em 6 m x 6 m e, para aos 36 meses, proceder a um novo desbaste, estabelecendo-se as parcelas com quatro densidades populacionais de plantas de eucalipto consorciadas com capim-digitaria: eucalipto (6 m x 6 m) x capim-digitaria, eucalipto (6 m x 12 m) x capim-digitaria e eucalipto (12 m x 12 m) x capim-digitaria. Desse modo, a Unidade de Referência Tecnológica (URT) foi formada por cinco parcelas de 5.000 m^2, sendo três de eucalipto consorciado com capim e duas testemunhas (plantio de eucalipto em monocultivo 3 m x 3 m e capim-digitaria isolado).

Resultados

Aos 90 dias da implantação do ensaio, procedeu-se a colheita do feijão-caupi (Figura 2), que produziu em torno de 800 kg ha^{-1}, favorecendo a redução dos custos de implantação do empreendimento florestal e, nesta mesma área, nas entrelinhas do eucalipto, aos 18 meses (Figura 3), foi plantado o capim-digitaria por meio de mudas.

Aos 27 meses de idade, quando o capim-digitaria apresentava 30% de ocupação da área plantada (Figura 4), foi realizado o primeiro desbaste.

A produção volumétrica de madeira foi 53 m^3 ha^{-1}, com a realização do desbaste e equivaleu a um incremento volumétrico médio anual de madeira de 23,0 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (Figuras 4 e 5), evidenciando um bom resultado nesta fase inicial de desenvolvimento.

Foto: Marcos Antônio Drumond.

Figura 2. Feijão-caupi consorciado com o eucalipto na Chapada do Araripe, em Araripina, PE.

Foto: Marcos Antônio Drumond.

Figura 3. Plantio do eucalipto aos 18 meses, na Chapada do Araripe, em Araripina, PE.

Foto: Marcos Antônio Drumond.

Figura 4. Desbaste de 50% das plantas de eucalipto, aos 27 meses de idade

Foto: Marcos Antônio Drumond.

Figura 5. Lenha de eucalipto aos 27 meses de idade, na Chapada do Araripe, em Araripina, PE.

A Figura 6 mostra o sistema de integração pecuária-floresta envolvendo o capim-digitaria x eucalipto e a Tabela 1 mostra as características produtivas do componente arbóreo e da gramínea forrageira.

Foto: Marcos Antônio Drumond.

Figura 6. Sistema de integração pecuária-floresta com eucalipto x capim-digitaria, na Chapada do Araripe, em Araripina, PE, aos seis anos após o seu estabelecimento.

Tabela 1. Características de crescimento e de produção de eucalipto cultivado em diferentes espaçamentos e capim-digitaria (CD), em sistemas de integração (ILPF) e isolados (solteiros), seis anos após o seu estabelecimento na Chapada do Araripe, em Araripina, PE.

Tratamentos	Altura (m)	DAP (cm)	Sobrevivência (%)	Volume de madeira (m^3 ha^{-1})	Biomassa forrageira (kg MS ha^{-1})
Eucalipto isolado (3 m x 3 m)	12,6	11,3	100	98,1	-
Eucalipto + CD (6 m x 6 m)	12,7	17,9	100	62,2	4.241
Eucalipto + CD (6 m x 12 m)	13,4	17,8	100	32,5	3.677
Eucalipto + CD (12 m x 12 m)	12,9	18,1	100	16,0	3.621
Capim-digitaria isolado	-	-	-	-	3.273

A taxa de sobrevivência de eucalipto foi de 100% para todos os espaçamentos estudados. Entre os sistemas integrados, o espaçamento entre plantas de 6 m x 6 m promoveu o melhor desempenho para eucalipto e capim-digitaria (62,2 m^3 ha^{-1} de madeira e 4.241 kg MS ha^{-1} de massa forrageira). O eucalipto (isolado) apresentou maior volume de madeira produzida (98,1 m^3 ha^{-1}) que aqueles consorciados, enquanto a biomassa de forragem (isolada) foi 3,273 kg MS ha^{-1}.

Conclusões

A produção do feijão-caupi na fase inicial do plantio florestal favoreceu a redução dos custos de implantação do empreendimento florestal;

O espaçamento de 3 m x 3 m entre as plantas de eucalipto prejudicou o estabelecimento do capim-digitaria;

O incremento médio anual de madeira de eucalipto, aos 27 meses, já produzia lenha para uso nas calcinadoras, reduzindo a pressão sobre a vegetação nativa da região da Chapada do Araripe.

Entre os sistemas de integração pecuária-floresta testados, o espaçamento intermediário (6 m x 6 m – 278 árvores/ha) proporcionou os melhores rendimentos em volume de madeira e em produção de biomassa forrageira.

Agradecimentos

Ao Banco do Nordeste pelo apoio financeiro e ao Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) pela parceria na realização deste trabalho.

Referências

BAPTISTA, N. de Q.; CAMPOS, C. H. Caracterização do Semiárido Brasileiro. In: CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. (org.). **Convivência com o Semiárido Brasileiro**: autonomia e protagonismo social. Brasília, DF: IABS, 2013. p. 45-50.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Brasília, DF, 2005. 32 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Monitoramento dos biomas brasileiros**: Bioma Caatinga. Brasília, DF, 2010. Disponível em: https://www.mma.gov.br/informma/item/6122- desmatamento-na-caatinga-ja-destruiu-metade-da-vegetacao-original.html. Acesso em: 10 jul. 2020.

DRUMOND, M. A.; MORGADO, L. B. Espécies arbóreas alternativas para sistemas agroflorestais no semi-árido brasileiro. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 1, p. 43-50, 2004.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; SA, I. B.; NASCIMENTO, C. E. de S.; OLIVEIRA, V. R. de. Espécies arbóreas de uso múltiplo para o Semiárido brasileiro. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (org.). **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa, 2010. cap. 7. p. 243-275.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Mapa de Biomas do Brasil**. Brasília, DF. 2004.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais **INPE Nordeste mapeia desmatamento da Caatinga**. São José dos Campos, SP, 2015. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_ Noticia=3895. Acesso em: 01 nov., 2020.

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P. De; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. de J. N.; BARBOSA, M. R. De V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (org.). **Biodiversidade da Caatinga**: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 48-90.

NÓBREGA, A. **Sistemas integrados garantem produção sustentável na Caatinga**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/40130777/ sistemas-integrados-garantem-producao-sustentavel-na-caatinga. Acesso em: 2 jul. 2020.

TONIOLO, E. R.; PAUPTIZ, J.; CAMPELLO, F. C. B. **Polo gesseiro de Pernambuco**: diagnóstico e perspectivas de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe. Fortaleza, 2007. 210 p.

31

O eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Cerrado

Valdemir Antônio de Laura
Miguel Marques Gontijo Neto
Roberto Giolo de Almeida
Fabiana Villa Alves

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km^2, ou seja, aproximadamente 22% do território brasileiro. A sua área contínua ocupa grande parte da região central do País, estendendo-se pelos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e pelo Distrito Federal, além dos encraves no Amapá, Roraima e Amazonas (Figura 1).

Figura 1. Localização geográfica do bioma Cerrado.
Fonte: Embrapa (2020)

Do ponto de vista da diversidade biológica, o Cerrado é a savana mais rica em espécies do planeta, pode-se dizer que é um mosaico de diferentes tipos de vegetação que variam, principalmente, em função da profundidade, fertilidade e drenagem dos solos. Neste espaço territorial encontram-se as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), o que resulta em um elevado potencial aquífero e favorece a sua biodiversidade (Brasil, 2020).

Considerado como um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, o Cerrado apresenta extrema abundância de espécies endêmicas e, por outro lado, sofre uma grande perda de habitat. Há uma grande diversidade de habitats que determinam uma notável alternância de espécies entre diferentes fitofisionomias.

Apesar do reconhecimento de sua importância biológica, de todos os *hotspots* mundiais, o Cerrado é o que possui a menor porcentagem de áreas sob proteção integral. O bioma apresenta 8,21% de seu território legalmente protegido por unidades de conservação; desse total, 2,85% são unidades de conservação de proteção integral e 5,36% são unidades de conservação de uso sustentável, incluindo RPPNs (0,07%) (Brasil, 2020).

Dentre os Estados apresentando maior cobertura original com Cerrado, destaca-se o Mato Grosso do Sul, onde o Cerrado ocupava mais de 60% do território, entretanto, atualmente resta menos de 25% (Brasil, 2020).

O estado de Mato Grosso do Sul constituía a parte meridional do estado do Mato Grosso, do qual foi desmembrado por Lei Complementar de 11 de outubro de 1977, e instalado em 1° de Janeiro de 1979, com uma superfície de 358.622 km² (Brasil, 1977).

A partir da criação do novo Estado, intensificou-se a ocupação do seu território, especialmente com pecuária de corte e os remanescentes do Cerrado ainda encontrados foram gradativamente savanizados. Dos quase 36 milhões de ha de área desse Estado, 2,2 milhões de ha estão com lavouras, 18,4 milhões de ha com pastagens e os outros 14 milhões de ha com vegetação nativa.

O eucalipto no Cerrado

Por várias décadas, o estado de Mato Grosso do Sul foi um tradicional produtor de carne e soja, entretanto, tem ampliado bastante sua posição no cenário florestal brasileiro, de aproximadamente 400 mil hectares de florestas plantadas em 2010 para mais de 1,1 milhão de ha em 2019 (a meta era 1,0 milhão de ha para 2030).

O cultivo de florestas plantadas é relativamente recente no Estado, as primeiras informações acerca do setor são das décadas de 1970 e 1980 quando, para internalizar o desenvolvimento do Brasil e até como estratégia de defesa do território, o Governo Federal incentivou a plantação de florestas com a destinação parcial do imposto de renda. Estima-se que, nessa época, o Estado chegou a ter 500 mil ha de florestas plantadas.

Na década de 1980, em decorrência da crise econômica brasileira, faltaram consumidores para a madeira e muitos produtores deixaram de cuidar dos maciços florestais que, em parte, foram consumidos por formigas e pelo fogo. O que restou foi material de baixa qualidade, quase totalmente utilizado à produção de carvão vegetal para siderurgia.

A partir de 1980, nos 25 anos seguintes, houve uma redução das áreas ocupadas com os maciços florestais e, particularmente nas regiões marginais para a agricultura, especialmente para o cultivo de soja, grandes extensões de terra estavam ocupadas com pecuária extensiva de corte, com baixo aproveitamento das terras, severas falhas no manejo da pastagem e do rebanho, baixos índices zootécnicos e, consequentemente, baixo retorno econômico.

A partir da retomada do projeto de instalação de uma fábrica de celulose na costa leste do Estado (em Três Lagoas), no início dos anos 2000, essa extensão de terras com pastagens, na sua maioria, com algum grau de degradação, passou a ser ocupada por maciços florestais destinados à produção de celulose. A primeira fábrica de produção

de celulose foi inaugurada em 30 de março de 2009, com a capacidade instalada de 1,3 milhão de toneladas de celulose por ano.

Como consequência da expansão florestal, após dez anos da implantação da primeira fábrica, a celulose se tornou o principal produto de exportação de Mato Grosso do Sul e comanda uma nova "revolução industrial" na região de Três Lagoas e o Estado ainda possui cerca de 14 milhões de hectares disponíveis para o plantio florestal.

As principais indústrias de base florestal se concentram na região leste do Estado; em Três Lagoas estão as indústrias que produzem celulose e papel. No centro-leste (Ribas do Rio Pardo e Água Clara) há um conjunto de serrarias que produzem toras e também carvão vegetal (para indústrias siderúrgicas da região). No centro-sul (região da Grande Dourados), há um conjunto de processadoras de grãos (soja e milho) que utilizam a madeira para alimentar secadores de grãos. Na região central do Estado (Campo Grande e Sidrolândia), existem cerâmicas que usam a madeira também para alimentar fornos e alguns secadores de grãos, o mesmo ocorrendo na região Norte do Estado.

Apesar dos vários e possíveis usos da madeira proveniente das florestas plantadas de eucalipto em Mato Grosso do Sul, quase a totalidade é destinada às indústrias de papel e celulose, serrarias e carvoarias. Essa situação de um quase oligopsônio deixa fragilizados os produtores de florestas plantadas. Além disso, as oscilações na economia mundial afetam de maneira severa os produtores independentes.

Portanto, acredita-se que seja necessário, cada vez mais, que os produtores florestais adotem estratégias para a redução dos riscos reais e potenciais decorrentes do atual modelo de monocultura e oligopsônio que influenciam negativamente as relações de mercado.

Assim sendo, os SAFs (sistemas agroflorestais) despontam como alternativa, por serem mais diversificados e potencialmente mais produtivos e estáveis do que as monoculturas e/ou os sistemas de produção tradicionais, com diversos benefícios e vantagens. Economicamente, diminuem-se os custos e diversifica-se a produção; o que, de certa forma, permite reduzir os riscos e a incerteza do mercado. Sob a ótica agronômica, têm-se a melhoria do solo (química, física e biológica), aumento da reciclagem de nutrientes e a redução da erosão.

Os SAFs são também chamados sistemas agrossilvipastoris ou integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e podem, de maneira geral, ser classificados em quatro categorias: integração lavoura-pecuária (agropastoril); integração pecuária-floresta (silvipastoril); integração lavoura-floresta (agroflorestal) e integração lavoura-pecuária-floresta (agrossilvipastoril). Considerando as peculiaridades do Cerrado de Mato Grosso do Sul, especialmente os Neossolos Quartzarênicos onde está a base de florestas plantadas e a aptidão pecuária da região, serão enfocados neste capítulo, principalmente os sistemas silvipastoris (pecuária-floresta).

Pesquisas em sistemas agroflorestais

Historicamente, no estado de Mato Grosso do Sul, até 1992 não há registros de pesquisas em SAFs. Neste ano, o professor Dr. Omar Daniel (in memorian) da ex-Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Dourados (atual Universidade Federal da Grande Dourados), ao qual se pode atribuir o pioneirismo em SAFs no Estado, iniciou as primeiras pesquisas com eucalipto. Na sequência, em 1999 e 2000, ele publicou vários trabalhos abordando terminologia e aspectos econômicos em SAFs. Ainda em 2000, instalou em Dourados, MS, o experimento que seria pioneiro em sistemas silvipastoris.

Após esse pioneirismo do Prof. Omar Daniel ocorreu, o que se pode chamar de um grande marco na história dos sistemas silvipastoris (SSP) em Mato Grosso do Sul, que foi a realização do Seminário Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável, em 2003, em Campo Grande, organizado pelas Unidades da Embrapa no Estado (Gado de Corte, Agropecuária Oeste e Pantanal), governo do Estado (Agraer e Sema) e UFGD. O evento foi considerado um importante estímulo à pesquisa e divulgação dos SAFs e SSP e fomentou a implantação de SSP no Estado. Houve um novo evento em 2013, o SAFs+10 (Alves et al., 2015b) para atualizar os dados após dez anos do primeiro Seminário.

Em 2009 a Embrapa e seus parceiros intensificaram as pesquisas e a transferência de tecnologias em ILPF, estabelecendo uma rede de mais de 190 Unidades de Transferência de Tecnologia (URTs) em todo o País. No estado de Mato Grosso do Sul são dez URTs instaladas nos municípios de Campo Grande, Selvíria, Brasilândia, Dourados, Três Lagoas e Ponta Porã. Em decorrência desse trabalho coletivo, houve a disseminação e implantação de pequenas e grandes áreas de SSP no Estado. A seguir serão apresentadas as áreas mais extensas de SSP no Cerrado de Mato Grosso do Sul e de Minas Gerais.

URT Grupo Mutum

O Grupo Mutum é parceiro da Embrapa Gado de Corte nas pesquisas e divulgação das tecnologias relacionadas aos SSP há alguns anos e, na fazenda Boa Aguada do grupo, é conduzida uma URT de validação do protocolo Carne Carbono Neutro (CCN). De acordo com um dos proprietários do Grupo Mutum, Moacir Reis, o primeiro sistema silvipastoril (a área não tem aptidão para lavouras) foi implantado na fazenda em 2006, sendo o pioneiro (como produtor rural) em Mato Grosso do Sul e, consequentemente, a propriedade serviu de exemplo para outros produtores rurais, tendo hoje mais de 3.500 ha de florestas plantadas.

O Grupo Mutum iniciou as atividades no município de Ribas do Rio Pardo, MS, há mais de 30 anos, adquirindo em 1990 florestas já plantadas para a produção

de carvão vegetal para siderurgia de Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, atividade mantida até o ano 2000. Entre os anos de 2000 e 2006, o grupo ampliou suas áreas e iniciou a diversificação das atividades com pecuária de corte (ciclo completo: cria, recria e engorda) e novos plantios de florestas de eucalipto. Em 2006 foi implantado o primeiro SSP.

Nas fazendas, até certo ponto, de forma empírica e a partir de observações de SSP implantados em Minas Gerais, foram testados diversos espaçamentos, em linhas simples, desde 6,0 m entre linhas e 2,0 entre plantas até 12,0 m entre linhas. Também foram testadas linhas duplas e triplas em SSPs.

Hoje, as áreas do grupo, entre áreas próprias e arrendadas ultrapassam 26.000 ha, com mais de 3.800 ha de Reserva Legal, 3.500 ha de florestas plantadas para a produção de carvão vegetal para churrascos (marca própria) e para siderurgia e mais de 1.500 ha de SSPs com clones de eucalipto de uso múltiplo, destinados à serraria, madeira tratada e extração de óleo essencial.

Na Fazenda Boa Aguada, é realizado anualmente, em parceria com a Embrapa e outros parceiros, um dia de campo sobre ILPF, SSP e CCN, nas áreas comerciais da fazenda e na URT.

Na URT está um experimento de validação do protocolo CCN comparando a floresta pura no espaçamento de 3 m x 2 m (maciço florestal) com SSP com linha simples (nos espaçamentos de 14 m x 2 m; 21 m x 2 m; 28 m x 2 m) e linhas triplas (3 m x 2 m nos renques e 28 m entre renques). A referência para produção animal é a pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã em monocultivo. Estão sendo avaliados os materiais genéticos arbóreos: *Corymbia citriodora*, os híbridos ”toreliodora” (*Eucalyptus toreliana* x *Corymbia citriodora*), ”urograndis I144” (*E. grandis* x *E. urophylla*) e “urocam VM 01” (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*).

Fazenda Ouro Branco

Localizada no município de Bandeirantes-MS, a Fazenda Ouro Branco com área de 4.860 ha é integrante da Associação Sul-Mato-Grossense de Produtores de Novilho Precoce (ASPNP), fundada em 1998 por um grupo de pecuaristas, com o objetivo de atender a crescente demanda por carne bovina de qualidade comprovada. A fazenda faz parte do grupo italiano Brazzale SPA, a mais antiga empresa italiana de laticínios fundada em 1784 e que baseia todas as suas atividades nos conceitos de produção sustentável e economia circular.

A Brazzale SPA produz, sobretudo, queijos (Gran Moravia, Grana Padano, Provolone, Asiago, scamorza e muçarela) e manteiga, exportando para 65 países e faturando € 205 milhões em 2018. É a única grande indústria de lácteos italiana que construiu fábricas fora da Itália. Produz queijos na Moravia, a mais rica região agrícola do antigo império austro-húngaro, hoje na República Checa, e ricota na China.

A Fazenda Ouro Branco abriga um projeto com cerca de 2.500 ha de pastagens tradicionais, 920 ha de pastagens com SSP, 450 ha de florestas de eucalipto plantadas desde 2006 e cerca 1.000 ha de Reserva Legal.

Em 2009, em uma área de 650 ha e após quatro anos de agricultura, foi plantado o primeiro SSP e, em 2016, foram plantados mais 250 ha. Nesse sistema, foram plantadas cerca de 850 árvores ha^{-1}, para que não houvesse sombreamento excessivo na pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

O arranjo adotado foram renques com linhas triplas, espaçados 20,0 m entre si, com 1,2 m entre as plantas e 1,5 m entre as linhas dentro do renque, com orientação leste-oeste. Nesse plantio mais adensado previu-se o primeiro desbaste aos quatro anos do plantio.

Os proprietários relataram que obtiveram um retorno econômico mais rápido com a diversificação, ou seja, duas receitas (carne e eucalipto) na mesma área e, a partir de outubro de 2014, em colaboração com a Universidade Uniderp/Anhanguera, de Campo Grande, MS, estão realizando um estudo com o objetivo de analisar a sustentabilidade produtiva e econômica do SSP. Os resultados até o momento permitiram as seguintes conclusões:

- O pasto, no SSP produziu 137% mais massa verde do que um pasto sem árvores.
- Análises físico-metabólicas dos animais indicam um benefício significativo no bem-estar e na sanidade, refletido na alta concentração de cortisol no sangue. Segundo o gerente da fazenda, isso se traduz em um maior crescimento do gado, que pode ser estimado em até 30%.
- A produção média de madeira foi aproximadamente 345 m^3 ha^{-1} num ciclo de 12 anos, o que resulta em um IMA (incremento médio anual) de 27,8 m^3 ha^{-1}, quando a média de um maciço florestal no Estado é 40 m^3 ha^{-1}.
- Considerando o SSP como um todo, verificou-se que o valor potencial para neutralizar a emissão de gases de efeito estufa foi 16,8 U.A. (unidade animal) por ha e por ano.

O trabalho desenvolvido na Fazenda Ouro Branco foi reconhecido na Expo Milão 2015, realizada na Itália, quando a fazenda ganhou "o prêmio de destaque" naquela exposição.

Fazenda Modelo II

A Fazenda Modelo II, assim como o Grupo Mutum, também está localizada em Ribas do Rio Pardo, MS, e foi a vencedora da terceira edição do Prêmio Fazenda Sustentável (2016), uma iniciativa da revista Globo Rural (em parceria com o Rabobank, a World Wildlife Foundation (WWF) e a Fundação Espaço Eco (FEE)

para estimular a adoção das boas práticas na atividade agropecuária. A propriedade é considerada pioneira na adoção de ILPF no Estado (o grupo Mutum é pioneiro em IPF – silvipastoril). Ao todo, mais de 7.600 ha de pastagens degradadas foram convertidos em lavouras de soja, milho, feijão e eucalipto junto com um confinamento para cerca de 20 mil cabeças de gado. Alguns fatores como a atenção para a mão de obra feminina e iniciativas de qualidade de vida e educação para crianças foram destaques para o prêmio.

O grande desafio, nessa fazenda, é cultivar lavouras em um solo com apenas 8% de argila, portanto a diversificação foi o caminho para diminuir os riscos e melhorar a rentabilidade. Assim, vários foram os trabalhos desenvolvidos por acadêmicos da UFGD nessa área. Em um desses trabalhos os autores concluíram que os sistemas de manejo e uso de sistemas de ILPF proporcionaram as maiores contribuições na melhoria da fertilidade do solo, quando comparados à vegetação nativa do Cerrado.

Atualmente, a fazenda já está processando a madeira colhida, com clientes em outros Estados, em um processo de agregação de valor da madeira.

URT Embrapa Milho e Sorgo

Uma URT em sistema de ILPF para a avaliação da eficiência produtiva dos componentes do consórcio Eucalipto – Milho – Capim foi implantada na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG, latitude de 19°29.106', longitude de 44°10.773'W e altitude de 708 m. O clima da região é do tipo Aw, com estação seca de maio a outubro e úmida de novembro a abril, segundo classificação de Köppen. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico (LVd), textura argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013), com relevo suave ondulado e cerrado subcaducifólio.

Nos anos de 2009, 2011 e 2013, foram implantados seis renques de eucaliptos (*Eucalyptus urophylla* cv. GG100) com 100 m de comprimento no espaçamento 15 m x 2 m, resultando em 333,3 árvores ha^{-1}.

Em setembro do segundo e terceiro anos após a implantação do eucalipto foram realizadas a desrama das árvores até 1/3 de sua altura e, posteriormente, a desrama final atingindo 6,0 m aproximadamente. Em setembro de 2014 e 2015 foi realizado o desbaste de 50% das árvores em metade dos renques implantados em 2009 e 2011, respectivamente.

Atualmente, as áreas implantadas com os sistemas consistem de seis sistemas de cultivo: sistemas silvipastoris (SSP), sendo dois implantados em 2009: (SSP1) com 333 árvores ha^{-1} e (SSP2) com 166 árvores ha^{-1}; dois implantados em 2011: (SSP3) com 333 árvores ha^{-1} e (SSP4) com 166 árvores ha^{-1}; outro implantado em 2013 (SSP5) com 333 árvores ha^{-1}, e a pastagem sob pleno sol (PS) implantada em 2009 (Figura 2).

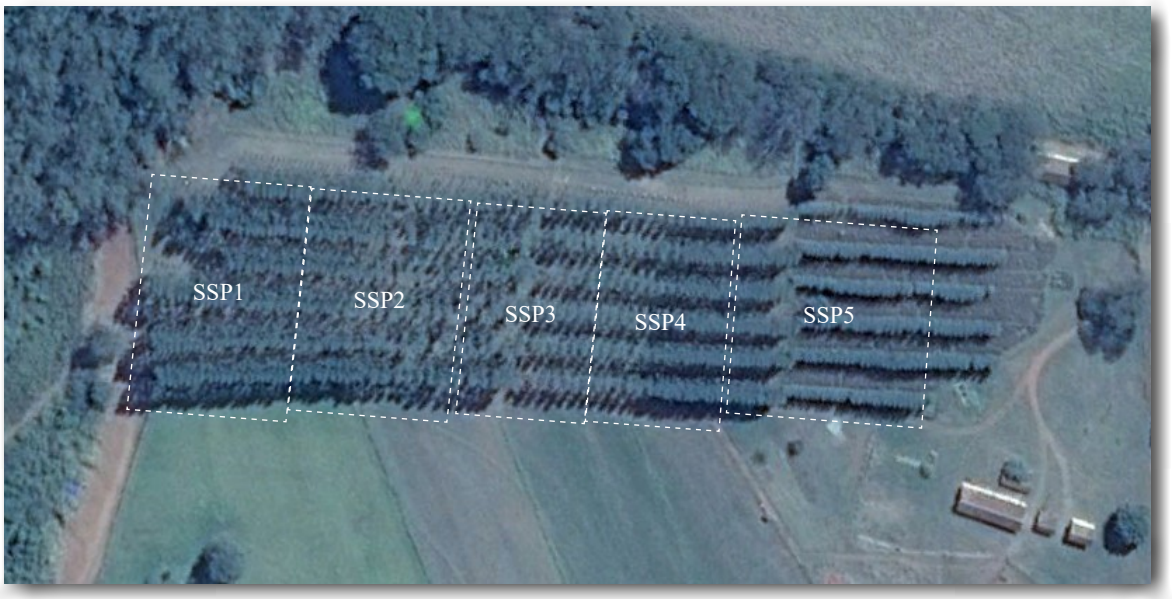


Figura 2. Área experimental com os sistemas de cultivo: sistemas silvipastoris implantados na URT-ILPF da Embrapa Milho e Sorgo.
Fonte: Google maps (2020).

Em cada sistema, no ano de implantação do eucalipto e nas duas safras seguintes, foram semeados, nas faixas entre os renques, milho consorciado com cultivares de capins braquiária. Para a semeadura do milho consorciado com os capins, nas faixas entre os renques de eucalipto e em área sob pleno sol, foi utilizada uma semeadora-adubadora para plantio direto, com três linhas espaçadas em 0,70 m, sendo respeitada a distância de 1,0 m entre a primeira linha de semeadura do milho/capim e o renque de eucalipto, com regulagem para um estande final de 68.000 plantas ha^{-1}.

Avaliando as eficiências produtivas de forragens (EPF) e de grãos (EPGR) em três safras de milho semeado entre os renques de eucalipto implantados em 2011, sendo a eficiência produtiva a produtividade percentual de cada parcela experimental dos tratamentos no sistema ILPF em relação à média das repetições do mesmo tratamento a PS (Tabela 1), verificou-se que, no ano de implantação do componente arbóreo (Ano 0) as EPGR e EPF tiveram comportamento similar no primeiro ciclo de cultivo entre o ILPF e o PS, entretanto, os sistemas ILPF apresentaram decréscimo ($P<0,05$) nas produtividades de forragem e grãos em torno de 25% ao ano em relação ao sistema PS. Isto provavelmente se deve à competição interespecífica do eucalipto com o milho, sobretudo pelo sombreamento, uma vez que, à medida que as árvores crescem, ocorre diminuição na radiação que incide no sub-bosque (Figura 3), ocasionando sombreamento do componente lavoura e/ou pasto, afetando as produtividades (Moreira et al.,

Tabela 1. Eficiências produtivas de grãos (EPGR), de forragem total (EPF) nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e sob pleno sol (PS) nos anos: 0 (2011/2012), 1 (2012/2013) e 2 (2013/2014), em Sete Lagoas, MG[1].

Eficiência produtiva	Sistema	Ano		
		0	1	2
EPF	ILPF	101,64 aA	74,86 bB	51,77 bC
(%)	PS	100 aA	100 aA	100 aA
EPGR	ILPF	99,85 aA	75,86 bB	43,39 bC
(%)	PS	100 aA	100 aA	100 aA

[1] Médias seguidas por letras distintas, maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Figura 3. Evolução do consórcio eucalipto-milho-capim: A) implantação dos renques de eucalipto e milho na primeira safra; B) eucalipto com um ano de implantação e milho na segunda safra; C) terceira safra de milho entre os renques de eucalipto; D) pastagem formada após três anos de implantação do eucalipto.

2018). Nos meses de novembro de 2011, 2012 e 2013 os renques de eucalipto apresentavam alturas médias de 0,5 m; 4,8 m e 10,3 m, respectivamente.

Em relação à interceptação luminosa no ciclo de pastejo 2015/16 nos sistemas SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 e PS (Tabela 2), observou-se que a radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) nas pastagens entre os renques de eucalipto foi significativamente ($p<0,05$) inferior à radiação na pastagem sob pleno sol (PS), exceto no inverno (Moreira, 2018).

Tabela 2. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (%) no dossel forrageiro de *U. brizantha* Piatã em sistemas silvipastoris com *Eucalyptus* ssp. sob diferentes densidades e anos de implantação em relação à pastagem sob pleno sol, conforme as estações climáticas[1], Sete Lagoas, MG.

Sistema*	RFAi nas estações do ano				Média
	Primavera 16/12/2015	Verão 01/02/2016	Outono 06/04/2016	Inverno 25/08/2016	
SSP1	62,79 abBC	52,11 bcB	36,69 cB	76,98 aB	57,14
SSP2	71,28 aB	68,89 aB	45,99 bB	85,57 aAB	67,93
SSP3	46,00 bC	49,40 bB	46,28 bB	77,39 aB	54,77
SSP4	56,89 bBC	65,87 bB	52,82 bB	88,95 aAB	66,13
PS	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	

[1] Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste Tukey ($p<0,05$).

* Sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árvores ha^{-1} (SSP1), em 2009 com 166 árvores ha^{-1} (SSP2), em 2011 com 333 árvores ha^{-1} (SSP3) e em 2011 com 166 árvores ha^{-1} (SSP4) e pastagens sob pleno sol (PS).

Com exceção da primavera, não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas silvipastoris (SSPs) avaliados, indicando que os níveis de interceptação da RFA, ocasionado pelos renques de eucalipto, atingiram um patamar médio em torno de 45% já no quinto ano após a implantação dos SSPs. Também não foi observada diferença significativa entre os sistemas mais adensados em relação àqueles onde foi realizado o desbaste de 50% das árvores, com o mesmo tempo de implantação (SSP1 x SSP2 e SSP3 x SSP4), sendo que a redução em 50% da população arbórea não foi suficiente para alterar de forma consistente a RFA incidente na pastagem no sub-bosque.

Já a biomassa de forragem disponível (BFOR) nos SSPs foi significativamente inferior à BFOR na pastagem PS em todos os cortes (Tabela 3). Os resultados observados indicam que o desbaste de 50% das árvores no quarto ano de implantação não ocasionou a esperada redução da pressão de competição exercida pelo eucalipto sobre a forrageira. Assim, percebe-se que o desbaste poderia ter ocorrido em uma idade mais precoce ou de forma mais rigorosa.

Tabela 3. Valores médios da biomassa da forragem disponível (kg ha^{-1}) e desvios padrão da forrageira *U. brizantha* cv. Piatã dos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem sob pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG.

Biomassa da forragem disponível, BFOR (kg ha^{-1})								
Sist.*	Primavera		Verão		Outono		Primavera	Prod. acum.**
	Data de corte							
	14/10/15	19/11/15	14/12/15	19/01/16	23/02/19	22/03/19	18/04/16	
SSP1	625 cB	1.346 bB	1.362 bB	2.281 aB	2.023 aB	2.487 aCB	1.089 cbC	11.214 C
SSP2	854 cB	1.542 bcB	2.051 bB	2.906 aB	2.106 bB	2.232 abC	1.202 cBC	12.893 BC
SSP3	484 cB	1.254 bcB	2.241 abB	2.674 aB	2.802 aAB	2.937 aCB	1.103 cC	13.495 BC
SSP4	453 cB	1.525 bB	2.277 bB	3.966 aB	3.244 aAB	3.323 aB	1.663 bB	16.451 B
PS	1.620 cA	3.494 bcA	3.903 abcA	6.756 aA	4.448 abcA	4.879 abA	3.435 bcA	28.533 A
Média	807	1.832	2.361	3.717	2.925	3.171	1.698	16.451

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, ($p<0,05$). * Sist. = sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árvores ha^{-1} (SSP1), em 2009 com 166 árvores ha^{-1} (SSP2), em 2011 com 333 árvores ha^{-1} (SSP3) e em 2011 com 166 árvores ha^{-1} (SSP4) e pastagens sob pleno sol (PS);. **Prod. acum.: Produção anual de matéria seca acumulada no período experimental (kg ha-1). Fonte: Moreira (2018).

De modo geral, o sombreamento proporcionado pelas arbóreas nesses sistemas foi efetivo para promover redução de 53% na produção da forrageira se comparada à situação sob pleno sol. A superioridade da produção do PS provavelmente se deve à maior radiação fotossinteticamente ativa e menor competição de espécies por recursos (água e nutrientes) às plantas, se comparado aos sistemas integrados.

URT Lagoa dos Currais

Uma parceria foi firmada em 2017/2018 entre a Embrapa e Lagoa dos Currais Agropecuária Ltda., para a condução de uma URT onde foram implantados quatro sistemas de ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico. A Fazenda Lagoa dos Currais fica situada na zona de influência de Curvelo, MG, região representativa das atividades de pecuária de corte e de produção de eucalipto, onde a convivência com a restrição hídrica é o maior desafio enfrentado pelos produtores. A propriedade é focada na produção e venda de genética animal (Guzerá e cruzamentos Guzonel e Guzolanda) e silvicultura de eucalipto, já possuindo mais de 1.300 ha plantados, a partir de 2013, com sistemas de integração pecuária-floresta, composto por renques de eucalipto em pastagens de braquiárias (Figura 4).

A URT Lagoa dos Currais visa obter, em âmbito de fazenda, informações de desempenho técnico e econômico na intensificação de sistemas em módulos de produção comercial, e agregar iniciativas de desenvolvimento agropecuário envolvendo capacitação para produtores, técnicos e consultores, além de ações educativas voltadas à formação de profissionais de ciências agrárias.

Foto: Arquivo da Fazenda Lagoa dos Currais

Figura 4. Foto aérea de área da Fazenda Lagoa dos Currais implantada em 2013 no sistema IPF composto por renques (12 m x 3 m) de eucalipto em pastagem de braquiária.

Os sistemas de ILPF implantados são constituídos por renques de eucalipto no espaçamento 20 m x 4 m (120 árvores ha^{-1}) e semeadura de sorgo silageiro consorciado com braquiária Marandu (*Urochloa brizantha*) nos níveis 3 e 4 (sistema intensificado e potencial produtivo, respectivamente) e semeadura exclusiva de Marandu nos níveis 1 e 2 (padrão regional e sistema melhorado, respectivamente) (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados da análise de solo da área e descrição dos níveis de intensificação utilizados na safra 2017/18 na URT.

Área de implantação de sistemas ILPF – fazenda lagoa dos currais, 2017/2018																			
	pH $CaCl_2$	MO	P RES	K	Ca	Mg	CTC	V%	S-SO_4	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca %	Mg %	K %	H+Al	SB
Análise inicial solo	4,3	27,7	2,0	1,4	5	2	49	18	3,0	0,2	1,1	48	3,2	0,4	11,0	4,0	2,7	40,7	8,7

Tratamentos Área total = 44 hectares	Nível 1 (Padrão regional) Talhão 11 hectares	Nível 2 (Sistema melhorado) Talhão 11 hectares	Nível 3 (Sistema intensificado) Talhão 11 hectares	Nível 1 (Produção potencial) Talhão 11 hectares
Forrageiras	**Marandu**	**Marandu**	**Marandu + Sorgo Silageiro BRS 658**	**Marandu + Sorgo Silageiro BRS 658**
Saturação de bases pretendida	V = 40%	V = 60%	V = 70%	V = 70% ×1,5
Calcário dolomítico aplicado PRNT 95% (t/ha)	1,1	1,9	2,6	3,8
Gesso agrícola aplicado (t/ha)	1,1	1,1	1,1	2,0
Fósforo aplicado lanço – corretiva (kg/ha 10-50-00/P_2O_5)	84/42	170/85	170/85	170/85
Potássio aplicado lanço – corretiva (kg/ha 00-00-60/K_2O)	-	-	80/48	131/79
Micronutrientes aplicados lanço – corretiva (kg/ha FTE BR12)	-	-	-	51
Fósforo aplicado sulco (kg/ha 10-50-00/P_2O_5)	-	-	112/56	138/69
Nitrogênio implantação (kg/ha N corretiva + N sulco)	8	17	17+11	17+14
Nitrogênio cobertura (kg/ha ureia/N)	-	87/40	140/64	140/64

Neste período, após a implantação até o momento, foram realizadas avaliações de produtividade de forragem antes da colheita (silagem/feno) e entrada dos animais nos piquetes. Também estão sendo realizadas pesagens periódicas dos animais e ajustes na carga animal nos piquetes (Figura 5).

Figura 5. Fotos das áreas dos piquetes da URT Lagoa dos Currais: A) Pastagem original (set/2017); B) Piquete NI 4 na colheita do sorgo silageiro consorciado com Marandu (Mar/2018); C) Piquete NI 2 na fenação da pastagem de Marandu (Mar/2018); D) Pastagem formada e animais no piquete NI 3 (dez/2018).

Com a aprovação da proposta, espera-se a consolidação da URT-ILPF Lagoa dos Currais como um ambiente de troca de experiências entre pesquisadores, assistência técnica, produtores e estudantes. Com a possibilidade de validação de avanços científicos aplicados à produção em escala comercial, em uma propriedade privada, a URT funcionará como uma vitrine tecnológica no campo.

Esse esforço estimulará a difusão e adoção de práticas de manejo aprimoradas para a produção de grãos, carne, leite e madeira, baseadas no uso racional de recursos naturais e insumos, sobretudo da água, além de aspectos relacionados ao planejamento e gestão da propriedade rural.

A ideia central é sedimentar a estratégia de intensificação sustentável de sistemas de produção como base para aliar o equilíbrio econômico da propriedade à conformidade ambiental e social, pilares para o desenvolvimento regional, cujo modelo poderá ser expandido para todo o estado de Minas Gerais.

URT Embrapa Gado de Corte

A URT da Embrapa Gado de Corte em Campo Grande-MS foi implantada em 2008, com dois sistemas de ILPF e um de ILP, com o objetivo de avaliar o efeito da densidade de árvores no desempenho bioeconômico dos sistemas, como estratégias para renovação de uma pastagem de braquiária (Figura 6).

Figura 6. Vista da área da URT antes da implantação dos sistemas, setembro de 2008.

O padrão climático da região, segundo classificação de Köppen, encontra-se na faixa de transição entre Cfa e Aw tropical úmido, e a precipitação pluvial média anual é 1.560 mm. O solo da área da URT foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico, textura argilosa.

O planejamento da área abrangeu um período de 12 anos para a condução dos sistemas, considerando a data de corte raso do componente florestal. Este período foi dividido em ciclos de quatro anos, sendo um ano de lavoura (soja) seguido de três anos com pastagem (recria de bovinos de corte). O desbaste (retirada de parte das árvores dos sistemas de ILPF) foi programado para ser realizado aos sete anos após o plantio das árvores.

Foi realizado o preparo total do solo com semeadura de soja, em outubro de 2008. Em janeiro de 2009 foi realizado o plantio do híbrido "urograndis" (clone H-13) em arranjos de 14 m x 2 m, com 357 árvores ha^{-1} ($ILPF_{14x2}$), e de 22 m x 2 m, com 227 árvores ha^{-1} ($ILPF_{22x2}$). Sobre os restos culturais da soja, foi semeado o capim-piatã, em abril de 2009, nos três sistemas.

Em outubro/novembro de 2009 o capim-piatã foi utilizado para fenação, com média de 4.000 kg ha^{-1}. As árvores de eucalipto atingiram porte recomendado para o pastejo de animais, em abril de 2010 (aos 15 meses da implantação) e, após a desrama das árvores, iniciou-se a primeira fase pecuária (Figura 7) que permaneceu até julho de 2012.

Foto: Roberto Giolo de Almeida

Figura 7. Vista dos sistemas de ILPF da URT, em fase pecuária, janeiro de 2011.

Durante a fase pecuária, nos períodos avaliados dos anos de 2010/2011 e 2011/2012, observou-se queda na produção animal por área nos sistemas de ILPF, em comparação ao sistema de ILP. Os sistemas $ILPF_{22x2}$ e $ILPF_{14x2}$ apresentaram queda no ganho de peso por área, com valores de 89% e 85% e de 85% e 62%, respectivamente (Tabela 5).

No período de 2012 a 2016, ocorreu o segundo ciclo dos sistemas, com a soja em sistema de plantio direto (Figura 8). As produtividades de soja observadas foram 2.038 kg ha^{-1} no sistema $ILPF_{14x2}$, 2.270 kg ha^{-1} no sistema $ILPF_{22x2}$ e 2.915 kg ha^{-1} no sistema ILP.

Durante a fase pecuária, nos períodos avaliados de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016, os sistemas $ILPF_{22x2}$ e $ILPF_{14x2}$ apresentaram queda no ganho de peso por área, em comparação ao sistema de ILP, com valores de 87%, 83% e 61% e de 63%, 54% e 31%, respectivamente (Tabela 4). O impacto na produção da lavoura e da pecuária ocorreu devido, principalmente, ao sombreamento imposto pelas árvores, e com maior intensidade, no sistema com maior densidade de árvores.

Aos 86 meses após o plantio das árvores, os arranjos espaciais não afetaram o desempenho individual das árvores, sendo que os valores médios observados para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume de madeira por árvore foram: 24,25 cm; 26,60 m e 0,43 m^3, respectivamente. Entretanto, o volume de

Tabela 5. Produção animal (recria de fêmeas Nelore): ganho médio diário (GMD), ganho de peso vivo (GPV) e taxa de lotação (TL), em três sistemas de integração na URT da Embrapa Gado de Corte.

Sistema	GMD (g/ha)	GPV (kg/ha)	TL (UA/ha)
novembro/2010 a maio/2011 (3º ano)			
ILP	493	132 (100)	1,7
ILPF 22 m x 2 m (227 árvores/ha)	449	118 (89)	1,8
ILPF 14 m x 2 m (357 árvores/ha)	406	112 (85)	1,8
junho/2011 a julho/2012 (4º ano)			
ILP	385	537 (100)	1,5
ILPF 22 m x 2 m (227 árvores/ha)	367	459 (85)	1,3
ILPF 14 m x 2 m (357 árvores/ha)	385	334 (62)	1,0
dezembro/2013 a agosto /2014 (5º ano)			
ILP	521	266 (100)	1,5
ILPF 22 m x 2 m (227 árvores/ha)	568	231 (87)	1,3
ILPF 14 m x 2 m (357 árvores/ha)	585	168 (63)	1,0
setembro/2014 a fevereiro/2015 (6º ano)			
ILP	375	445 (100)	2,7
ILPF 22 m x 2 m (227 árvores/ha)	388	370 (83)	2,2
ILPF 14 m x 2 m (357 árvores/ha)	442	240 (54)	1,3
maio/2015 a abril/2016 (7º ano)			
ILP	412	376 (100)	1,9
ILPF 22 m x 2 m (227 árvores/ha)	510	228 (61)	1,1
ILPF 14 m x 2 m (357 árvores/ha)	541	118 (31)	0,7

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2019).

Foto: Roberto Giolo de Almeida

Figura 8. Vista de um sistema de ILPF da URT, em fase de lavoura de soja, janeiro de 2013.

madeira por hectare aumentou com a densidade de árvores, sendo 92,37 m^3 ha^{-1} para $ILPF_{22x2}$ e 153,50 m^3 ha^{-1} para $ILPF_{14x2}$.

O desbaste das árvores nos sistemas de ILPF foi realizado nesta época, em 2017, como estratégia para minimizar o efeito do sombreamento, porém ocorreu com um ano de atraso em relação à programação original. No sistema $ILPF_{22x2}$ ocorreu a retirada de 50% das árvores (46,19 m^3 ha^{-1}) sendo que o arranjo espacial foi alterado para 22 m x 4 m, resultando em uma densidade de 113 árvores ha^{-1}. Já no sistema $ILPF_{14x2}$, ocorreu a retirada de 75% das árvores (115,13 m^3 ha^{-1}) sendo que o arranjo espacial foi alterado para 28 m x 4 m, resultando em uma densidade de 89 árvores ha^{-1}.

Com a retirada de parte das árvores dos sistemas de ILPF, as fases seguintes de lavoura e de pecuária tendem a apresentar uma recuperação na produtividade em relação ao sistema de ILP, em decorrência da diminuição do sombreamento.

As árvores retiradas no desbaste podem servir como matéria-prima para a produção de carvão vegetal, lenha, estacas, mourões, postes, dentre outros, e contribuem com receitas para os sistemas de ILPF.

As árvores remanescentes, ao final dos 12 anos, devem ser utilizadas na produção de madeira para serraria, com maior valor agregado, e contribuem para uma parcela significativa da receita destes sistemas. Atualmente, os sistemas estão no terceiro e último ciclo do período de condução de 12 anos.

Em estudo de viabilidade econômica da introdução de eucalipto em sistemas de integração, considerando os dados desta URT, Pereira et al. (2018) sugerem que o uso de uma densidade de árvores que possibilite índices técnicos favoráveis à lavoura e à pecuária associadas reverte em rentabilidades satisfatórias e relativamente estáveis, especialmente se comparadas aos sistemas mais adensados (ex. $ILPF_{14X2}$), ainda com possibilidade de agregação de valor e diversificação de renda, se comparada ao sistema de ILP.

As perspectivas de ganhos por serviços ambientais e por produtos certificados, como a Carne Carbono Neutro (Alves et al., 2015a), podem ser viabilizadas em cenários no médio e curto prazos, respectivamente, e podem incrementar os benefícios de sistemas pecuários com o componente florestal.

Considerações finais

As várias atividades de pesquisa e de divulgação de resultados (publicações, palestras, dias de campo etc.), realizadas pela Embrapa e parceiros e a implantação de URTs (Unidade de Referência Tecnológica) fomentaram a adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em todo o Brasil, especialmente nos Cerrados. Atualmente, estima-se que uma área de 12,5 milhões de hectares é ocupada por algum tipo de sistema agrossilvipastoril.

Praticamente todos os sistemas de ILPF empregam como componente arbóreo o eucalipto; ao avançarem as pesquisas, espera-se que sejam utilizadas espécies nativas de madeira nobre, que possam agregar mais valor ao sistema e, ainda, se possível, que seja uma espécie leguminosa para a fixação de nitrogênio. Ainda, as forrageiras, especialmente as gramíneas disponíveis no mercado, foram desenvolvidas para o cultivo sob pleno sol, algumas têm boa tolerância à sombra, mas o lançamento de uma forrageira mais adaptada às condições de sombra para os sistemas de ILPF melhoraria o desempenho animal.

Com o desenvolvimento do conceito "Carne Carbono Neutro" pela Embrapa, para certificar os sistemas de produção pecuários sustentáveis, nos quais o carbono emitido na forma de metano entérico pelo rebanho é neutralizado pelo sequestro de carbono árvores, espera-se que a adoção de sistemas de ILPF seja ampliada.

Referências

ALMEIDA, R. G.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (ed.). **ILPF**: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta: a produção sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 379-388.

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; SILVA, V. P.; MACEDO, M. C. M.; MEDEIROS, S. R.; FERREIRA, A. D.; GOMES, R. C.; ARAÚJO, A. R.; MONTAGNER, D. B.; BUNGENSTAB, D. J.; FEIJÓ, G. L. D. **Carne Carbono Neutro**: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Brasília, DF: Embrapa, 2015a (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1056155.

ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. **Sistemas agroflorestais**: a agropecuária sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2015b. 208 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomas**: o bioma Cerrado. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado. Acesso em: 20 jan. 2020.

BRASIL. Presidência da República. **Lei Complementar nº 31, de 11 de outubro de 1977**. Cria o Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp31.htm. Acesso em: 20 jan. 2020.

EMBRAPA. **Contando ciência na web**. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-cerrado. Acesso em: 20 jan. 2020.

GOOGLE Maps. Disponível em: https://www.google.com.br/maps. Acesso em: Acesso em: 20 jan. 2020.

MOREIRA, E. D. S.; GONTIJO NETO, M. M.; LANA, A. M. Q.; BORGHI, E.; SANTOS, C. A. dos; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M. Production efficiency and agronomic attributes of corn in an integrated crop-livestock-forestry system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 419-426, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000400003.

MOREIRA, E. D. S. **Produtividade e valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e qualidade do solo em sistemas silvipastoris na região central de Minas Gerais**. 2018. 137 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PEREIRA, M. A.; COSTA, F. P.; ALMEIDA, R. G. Viabilidade econômica da introdução de eucalipto em sistemas de integração Lavoura-Pecuária. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2018, Campinas. **Transformações recentes na agropecuária brasileira**. Campinas: SOBER, 2018. v. 1. p. 1-17.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

Literatura consultada

BUENO, M. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; PONTARA, V.; POTT, A.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Flora arbórea do Cerrado de Mato Grosso do Sul. **Iheringia, Série Botânica**, v. 73, p. 53-64, 2018. Suplemento.

BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**: a produção sustentável. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 239 p.

CADERNOS do Diálogo, v. 8, Campo Grande, MS, WWF-Brasil, 2015.

FAZENDA de Mato Grosso do Sul é a campeã da sustentabilidade. **Revista Globo Rural**, 6 dez. 2016. Disponível em: https://revistagloborural.globo.com/Colunas/fazenda-sustentavel/noticia/2016/12/fazenda-de-mato-grosso-do-sul-e-campea-da-sustentabilidade.html. Acesso em: 20 jan. 2020.

ILPF em números: região 06 - MS, SP e PR. [Dourados: Embrapa, 2017]. 16 p. 01 folder. ILPF em números: região 06 - MS, SP e PR. Disponível em: https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/ilpf-em-numeros.

INPUT: Regiões: Mato Grosso do Sul. Disponível em: https://www.inputbrasil.org/regioes/mato-grosso-do-sul/. Acesso em: 20 jan. 2020.JORNAL Agroin, v. 193, 21 mar. 2019.

KISS, J. Plantações de eucalipto desbancam pecuária de corte em Mato Grosso do Sul. **Revista Globo Rural**, 31 mar. 2011. Disponível em: http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI222687-18283,00-PLANTACOES+DE+EUCALIPTO+DESBANCAM+PECUARIA+DE+CORTE+EM+MATO+GROSSO+DO+SUL.html. Acesso em: 20 jan. 2020.

NICODEMO, M. L. F.; SILVA, V. P. da; THIAGO, L. R. L. de S.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A. **Sistemas silvipastoris**: introdução de árvores na pecuária do Centro-Oeste brasileiro. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2004. 37 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 146).

SILVA, R. C. da. Vegetação do Mato Grosso do Sul. **Info Escola**. Disponível em: https://www.infoescola.com/geografia/vegetacao-do-mato-grosso-do-sul/. Acesso em: 20 jan. 2020.

32

O Eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Mata Atlântica

Marcelo Dias Müller
Carlos Eugenio Martins
Alexandre Magno Brighenti
Wadson Sebastião Duarte da Rocha
Leonardo Henrique Ferreira Calsavara
José Ricardo Macedo Pezzopane
Vanderley Porfírio-da-Silva

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

A Floresta Tropical Atlântica possui uma grande complexidade sistêmica e está formada por diferentes tipos de fitofisionomias, em função da grande diversidade de topografias e condições edafoclimáticas (Arruda, 2001). Representa uma faixa de largura variável com 3.200 km de extensão, que vai do Rio Grande do Sul ao Rio Grande do Norte. Em termos ecossistêmicos, constitui um domínio fitogeográfico que faz transição com quase todos os domínios de vegetação do Brasil, o que a torna um dos biomas mais ricos do mundo em termos de biodiversidade (Ab'Saber, 2006). Com isto, apresenta ampla variabilidade ecológica e edafoclimática. Em sua maior parte apresenta relevo fortemente ondulado e acidentado, com alta diversidade de espécies vegetais e animais.

O bioma, pela sua liocalização próxima ao litoral, sofreu intenso processo de ocupação antrópica desde o período da colonização, o que causou a redução drástica de suas áreas a apenas 7% daquela original (May; Trovatto, 2008).

Dessa forma, tendo em vista a tendência da crescente demanda por alimentos, fibras, madeira e biocombustíveis no mundo, o que tem pressionado o avanço da fronteira agrícola brasileira, cresce a preocupação acerca da degradação deste bioma.

Nesse contexto, a incorporação do conceito de sustentabilidade na produção agropecuária tem levado a pesquisa a buscar modelos alternativos e sustentáveis de produção, com destaque para os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, que preconizam justamente a intensificação sustentável da exploração da terra por meio da combinação da utilização de espécies florestais, agrícolas e, ou, criação de animais, numa mesma área, de maneira simultânea e, ou, escalonada no tempo (Kluthcouski et al., 2000).

A escolha da espécie florestal a ser utilizada deve obedecer a alguns critérios básicos, tais como: adaptação climática, finalidade do plantio, crescimento rápido, copa alta e pouco densa, possibilidade de mercado, dentre outros (Porfírio-da-Silva et al., 2009; Venturin et al., 2010). Além disso, o nível de conhecimento técnico sobre a silvicultura da espécie deve ser considerado, bem como a disponibilidade de mudas com preços acessíveis e a existência de assistência técnica local qualificada.

Neste sentido, Oliveira Neto e Paiva (2010) observam que, a despeito das diversas funções que as árvores podem desempenhar, a produção madeireira, na maioria das vezes, tem sido o principal fator na escolha da espécie. Os autores ainda destacam que, em função de suas características de rusticidade, adaptação a diversos ambientes, facilidade no manejo cultural, conhecimento técnico disponível, disponibilidade de mudas e de material genético adequado, crescimento rápido e multiplicidade de usos, atendendo a diversos mercados, as espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido as mais utilizadas.

Macedo et al. (2008) também destacam uma série de fatores que corroboram a indicação do eucalipto como um dos principais componentes arbóreos para a composição de sistemas de ILPF. Dentre estes fatores podem ser citados o grande número de espécies, que possibilita a seleção entre características específicas (dependendo dos objetivos produtivos), bem como possibilita a sua adaptação a diversas condições edafoclimáticas, aumentando significativamente a sua plasticidade ecológica; características agroflorestais desejáveis, dado ao seu rápido crescimento, formação de fuste retilíneo com copas altas e pouco densas, o que facilita o controle da sombra sobre a pastagem; domínio da silvicultura, o que diminui o risco da atividade e aumenta a segurança do investimento do produtor.

Assim, o objetivo deste capítulo é apresentar alguns resultados de pesquisas relizadas pela Embrapa e parcerias, para o desenvolvimento de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em áreas da Mata Atlântica, com a inserção do eucalipto como componente florestal.

Principais experiências da Embrapa com ILPF na Mata Atlântica

Região Sul

A Mata Atlântica na região Sul do Brasil compreende os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, onde as principais atividades agrícolas são o cultivo de trigo, arroz, milho, soja, café, o plantio de eucalipto e pinus, além da pecuária de corte e de leite.

A silvicultura na região tem foco no abastecimento das cadeias produtivas, desde as cadeias de madeira sólida para serrarias e industrialização de celulose e papel, bem como o uso como insumo energético, além do suprimento de madeira para as propriedades rurais.

Notadamente, o estado do Paraná é o que acumula maior experiência no desenvolvimento de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, destacando-se os sistemas silvipastoris. Grande parte dos estudos foi iniciada ainda na década de 1990, com a instalação de diversas unidades de observação e referência tecnológica (Figura 1).

Estas áeras estão localizadas em regiões que apresentam regime térmico que varia desde o de clima subtropical com geadas severas no outono-inverno, até as condições de clima quente/muito quente durante a primavera-verão, com temperaturas superiores a 30 °C. Dessa forma, a filosofia da introdução de árvores em sistemas pecuários foi direcionada à proteção dos rebanhos contra fatores climáticos extremos, bem como

Figura 1. Sistema de ILPF com *Eucalyptus* e gado de corte em parceria com a Emater/PR – URT - Porto Vitória, PR.

à produção de matéria-prima de alta qualidade para o setor madeireiro (Porfírio-da-Silva, 2015).

Desde então, diversos estudos relacionados ao desenvolvimento, produção e manejo de diferentes materiais genéticos de eucalipto, efeitos do consórcio na produção forrageira, bem como de viabilidade econômica vêm sendo conduzidos pela Embrapa, em parceria com outras instituições como o Instituto Agronômico do Paraná (Iapar), Emater/PR, Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentre outras.

Neste sentido, destacam-se os estudos (Ribaski; Rakocevic, 2002; Rakocevic; Ribaski, 2002; Ribaski et al., 2003; Rakocevic et al., 2004) realizados no município de Tamboara, no noroeste do Paraná, relacionados ao efeito do sombreamento em características do pasto e sua produtividade sob sombreamento de árvores de *Corymbia citriodora* (ex-*E. citriodora*) estabelecidas em linhas simples espaçadas 30 m acompanhando os terraços, e distanciadas 1,5 m entre plantas nas linhas. A produção de madeira destas espécies de eucalipto, bem como suas características mecânicas, foram estudadas, mais tarde, por Radomski e Ribaski (2010, 2011).

A ocorrência de danos às árvores estabelecidas em sistemas silvipastoris foi abordada por Medrado et al. (2009), no município de Cruzmaltina, PR, onde foram avaliados os danos causados por bovinos zebu em pastagem de *Brachiaria brizantha* consorciada com árvores de *E. grandis*. Porfírio-da-Silva et al. (2012) também estudaram a ocorrência de danos provocados por bovinos em árvores de eucalipto. O trabalho foi realizado em Ponta Grossa, PR, na Fazenda Experimental do Iapar. Árvores de *E. dunnii* Maiden foram plantadas intercaladas com aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevílea (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R.Br.) em linhas simples espaçadas em 14 m e espaçamento entre plantas de 3 m. Além disso, os autores também desenvolveram estudos sobre o rendimento de grãos e de

forrageiras de inverno semeados entre renques arbóreos, o comportamento animal e o desenvolvimento das árvores (Porfírio-da-Silva et al., 2012). Posteriormente, Cardoso et al. (2015) estabeleceram as relações dendrométricas destas árvores, por meio da modelagem de equações alométricas, para a estimação do volume de madeira.

Neste mesmo experimento, Camargo et al. (2013) avaliaram a influência da presença destas árvores na relação entre a altura e massa de forragem de pastagem anual de aveia-preta com azevém. Pontes et al. (2018) observaram o efeito de doses de adubação nitrogenada na produtividade de milho para silagem e grãos, entre os renques de árvores, bem como quantificaram a emissão de metano pelos bovinos criados no sistema (Pontes et al., 2018).

Santarosa et al. (2013) estimaram a produção volumétrica de madeira de duas espécies de eucalipto: *E. dunnii* e *E. benthamii*, estabelecidos em sistema silvipastoril com pecuária leiteira, no município de Porto Vitória, PR. As árvores foram estabelecidas em renques de fileiras simples espaçadas 18 m e com espaçamento de 2 m entre plantas na linha de plantio. O mesmo sistema também foi desenvolvido em outros dois municípios do Rio Grande do Sul, com *E. dunnii* em uma propriedade produtora de grãos e gado de corte, e em uma propriedade rural produtora de grãos e gado de leite. O arranjo adotado foi o de renques de linhas triplas espaçadas 14 m, com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas.

Região Sudeste

Nesta região, a Mata Atlântica se desenvolve desde o sul do estado de São Paulo até o norte do Espírito Santo, abrangendo regiões interioranas do estado de Minas Gerais, como a Zona da Mata Mineira e Campo das Vertentes (Figura 2).

Foto: Marcelo Dias Müller.

Figura 2. Relevo típico da Zona da Mata Mineira e Campo das Vertentes. ILPF com o ´hbrido ¨urograndis¨ (*Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis)* e gado de leite – Sítio Corrêas, em Resende Costa, MG.

O principal foco da silvicultura nesta região é a produção de madeira para as indústrias de celulose e papel e siderurgia, tendo, em segundo plano, um aumento da participação da produção de madeira sólida.

Os principais trabalhos da Embrapa desenvolvidos nesta região se concentram nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

Ações desenvolvidas em Minas Gerais

A primeira ação desenvolvida data de 1997, ocasião do estabelecimento de um experimento para a comparação de um sistema silvipastoril com o sistema de monocultivo de capim-braquiária. O sistema foi estabelecido em área de topografia montanhosa, com declividade de aproximadamente 30%. Foram estabelecidos renques e quatro linhas de árvores intercalados com faixas de 30 m de pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Dentro dos renques de árvores, foram introduzidas, alternadamente, plantas de *Acacia mangium*, *A. angustissima*, *Mimosa artemisianae*, *Leucaena leucocephala* x *L. diversifolia*, além de *E. grandis*.

Este campo experimental foi de grande utilidade para a realização de diversas pesquisas e, consequentemente, para o avanço do conhecimento sobre as interações ecofisiológicas entre os componentes do sistema, por mais de 20 anos.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos com base neste sistema foi direcionada para os efeitos das árvores no solo (Paciullo et al., 2010; Xavier et al., 2011, 2014), morfologia e produção forrageira (Paciullo et al., 2007, 2011b) e efeitos no comportamento e produção animal (Paciullo et al., 2011a; Lima et al., 2018; Paes Leme et al., 2005), além de aspectos da viabilidade econômica (Müller et al., 2011). Com foco no componente florestal, destaca-se o trabalho desenvolvido por Müller et al. (2014), onde foram estudadas as relações dendrométricas para a estimação de volume, altura e afilamento de tronco em árvores de eucalipto e acácia.

Em 2007, a Embrapa Gado de Leite iniciou uma parceria com a Fazenda Triqueda, localizada no município de Coronel Pacheco, MG, onde foram desenvolvidos estudos com foco no componente florestal. As atividades desenvolvidas na propriedade são a pecuária de corte e a silvicultura voltada à produção de madeira sólida de alto valor agregado.

São três áreas com diferentes configurações de plantio. Os plantios ocorreram entre novembro de 2007 e novembro de 2009, com a implantação de três áreas, sendo duas áreas com plantios de clones do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (GG100 e I144) e uma área com plantas oriundas de sementes (¨urograndis¨ procedente do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef)).

No plantio realizado em 2007, a área foi subdividida para a implantação dos dois clones de eucalipto estabelecidos em arranjos com fileiras duplas no espaçamento de (3 m x 2 m) + 15 m, perfazendo um total de 555 plantas/ha. Aos 42 meses de idade, esta área sofreu um desbaste sistemático de 50% das árvores, com a remoção

de árvores intercaladas dentro da linha de plantio, com o arranjo final apresentando espaçamento (3 m x 4 m) + 15 m (275 plantas/ha).

A segunda área, implantada em 2008, foi caracterizada pelo plantio de árvores de eucalipto de origem seminal, estabelecidas em dois arranjos de plantio de fileiras duplas nos espaçamentos (3 m x 2 m) + 15 m (totalizando 555 plantas/ha), e (3 m x 2,5 m) + 15 m (totalizando 444 plantas/ha), em porções de terras não contíguas, correspondentes a 555 plantas/ha e 444 plantas/ha, respectivamente. Estas áreas também sofreram um desbaste sistemático combinado com um seletivo de 50% das árvores, de forma que os arranjos finais ficaram estabelecidos no espaçamento (3 m x 4 m) + 15 m e (3 m x 5 m) + 15 m, totalizando 275 plantas/ha e 222 plantas/ha, respectivamente.

Por fim, a última área implantada em 2009 foi caracterizada pelo plantio dos dois clones de eucalipto sob arranjo de fileiras simples e espaçamento de 14 m x 2,8 m, correspondente a 255 plantas/ha. Foi realizado um desbaste sistemático de 50% das árvores no início de 2019, de forma que o arranjo final ficou estabelecido no espaçamento 14 m x 5,6 m (127 plantas/ha).

Os trabalhos conduzidos tratam principalmente do estudo das curvas de crescimento das árvores estabelecidas nos diferentes espaçamentos, bem como no estudo das relações dendrométricas de volume, altura e conicidade de tronco (Müller et al., 2013, 2015; Jorge, 2015; Martins et al., 2015; Pyles et al., 2015; Pena, 2019), bem como da sua análise financeira (Resende et al., 2017).

Em 2010, foi implantada uma nova área no Campo Experimental José Henrique Bruschi, da Embrapa Gado de Leite, de aproximadamente 5 ha, com a introdução do clone do híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, para a realização de estudos sobre o controle de plantas daninhas associado à aplicação de boro adicionado à calda herbicida. O arranjo espacial foi o plantio em nível de linhas simples espaçadas 20 m, com espaçamento de 2 m entre plantas na linha, totalizando 250 plantas/ha (Brighenti et al., 2015)

Devido ao amplo programa de Transferência de Tecnologia em sistemas de ILPF visando a implantação de Unidades de Referência Tecnológica em todas as regiões do País, a Embrapa Gado de Leite desenvolveu um trabalho centrado em duas regiões: a Zona da Mata Mineira e o Campo das Vertentes.

Na região de Mar de Espanha, MG, o trabalho foi desenvolvido em uma propriedade leiteira de base familiar (Sítio do Valão), onde o eucalipto foi inserido em sistemas silvipastoris estabelecidos em áreas de encosta, com declividade variando entre 25° a 40°, onde não era possível a mecanização. O objetivo da inserção do eucalipto como alternativa florestal foi, além do sombreamento e conforto animal, a produção de madeira para uso na propriedade e comércio local, por meio de desbastes das árvores. O plantio de áreas com o sistema silvipastoril totaliza aproximadamente 22 hectares divididos em cinco áreas escalonadas. Os desbastes são realizados de forma seletiva à medida da necessidade da propriedade ou de oportunidade de mercado. Os materiais genéticos e arranjos de plantio utilizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Materiais genéticos de eucalipto utilizados em Unidades de Referência Tecnológica de ILPF (Sítio do Valão) e arranjos de plantio.

Material	Arranjo	Densidade (plantas/ha)
Eucalyptus urophylla (origem seminal)	(3 m x 2 m) 21 m	416
Clone GG157 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*)	(3 m x 2 m) 21 m	416
Clone H13 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*)	(3 m x 2 m) 24 m	370
Clone GG157 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*)	21 m x 2 m	238
VE06 (*E. urophylla* x *E. grandis*)	10 m x 4 m, (3 m x 2 m) + 21 m, 3 Linhas (3 m x 2 m) + 21 m	250, 416, 555

Estes arranjos foram determinados em função do objetivo de colheita de madeira fina para a produção de mourões de cerca no primeiro raleio e produção de madeira de maior valor agregado a partir do estande restante.

Visando conhecer o efeito destes arranjos na conservação do solo, em áreas decllivosas, Rocha et al. (2017) estabeleceram uma rede de sistema de captação de escoamento de material de solo nestas áreas, para serem comparadas com áreas de pastagens em monocultivo.

Já no Campo das Vertentes, foram estabelecidas diversas URTs em propriedades leiteiras de base familiar, compreendendo aproximadamente 200 hectares de área plantada com o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, tendo como componente forestal o eucalipto.

Os objetivos definidos para o componente florestal são variados e abrangem tanto a produção de madeira para uso na propriedade (mourões de cerca, estacas, construção rural etc.) quanto a produção de lenha e madeira sólida de baixo valor agregado.

Neste sentido, o trabalho desenvolvido pela Embrapa juntamente com a Emater/MG tem buscado o delineamento de arranjos diversos visando atender estes objetivos.

O trabalho desenvolvido por Aguiar Júnior (2018) considerou as características dendrométricas e o crescimento de três diferentes clones de eucalipto estabelecidos em sistemas de ILPF. Neste estudo, o arranjo adotado foram renques de linhas duplas de árvores com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas. Os renques foram estabelecidos acompanhando os terraços existentes no terreno, de forma que as distâncias entre os renques (onde foi estabelecida a pastagem) foi variável.

Em outro estudo, realizado pelo mesmo autor, foram observadas as características dendrométricas e de crescimento de um clone de eucalipto estabelecido em três diferentes arranjos de plantio: fileiras simples 18 m x 2,5 m, sendo 18 m entre linhas

e 2,5 m entre plantas (222 plantas/ha); fileiras duplas com (5 m x 2 m) + 40 m, sendo 5 m entre linhas, 2 m entre plantas e 40 m entre as fileiras (222 plantas/ha); fileiras triplas (3 m x 2 m) + 30 m, sendo 3 m entre linhas, 2 m entre plantas e 30 m entre as fileiras (417 plantas/ha). Os materiais utilizados foram os clones Copebrás 69, GG 100 e Cenibra 57.

Nesta mesma área, foi conduzido um estudo sobre a ocorrência de plantas daninhas, bem como realizado o seu cadastramento fitossociológico nas áreas consorciadas com espécies arbóreas (Brighenti et al., 2016).

Ações desenvolvidas em São Paulo

Entre 2008 e 2011, a Embrapa Pecuária Sudeste desenvolveu o trabalho "Adequação ambiental e sistemas silvipastoris em propriedades pecuárias de São Paulo", em parceria com a Embrapa Florestas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati) e Agência Paulista de Tecnologias do Agronegócio (Apta), visando levar ao produtor rural orientações sobre a adequação ambiental – aspectos legais, tecnologias para reabilitação de áreas degradadas – e sobre sistemas de produção ecologicamente adequados. Dentro do contexto deste trabalho, foi criado o Fórum Paulista de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), reunindo centros de ensino, pesquisa e extensão, para criar uma agenda comum que permitisse uma maior integração das ações para a implantação, desenvolvimento e divulgação de sistemas integrados, bem como alternativas à agricultura paulista (Nicodemo et al., 2012).

Foram estabelecidas seis Unidades de Referência Tecnológica (URTs) nos municípios de Riolândia, Aspásia, Olímpia, Ibirá, Votuporanga e Brotas, no estado de São Paulo, tendo o eucalipto como componente florestal. Os materiais utlizados e os arranjos de plantio estabelecidos são apresentados na Tabela 2.

A partir das observações na URT de Brotas, Guerreiro et al. (2015) constataram a vulnerabilidade de dez diferentes materiais genéticos de eucalipto à predação por bovinos, incluindo clones híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis, E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. urophylla* x *E. camaldulensis* e materiais propagados por sementes, além de *Corymbia citriodora* (ex-*E. citriodora*).

A Embrapa Pecuária Sudeste conduz, desde 2011, um experimento com área de aproximadamente 12 hectares, em sistema ILPF, para a produção de gado de corte, com eucalipto híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (clone GG100), plantado em fileiras simples espaçadas 15 m , no espaçamento de 2 m entre plantas, totalizando 333 plantas/ha (Figura 3). A Área experimental está localizada no município de São Carlos, SP, considerada área de transição entre Cerrado e Mata Atlântica. Nessa area já foram realizados dois desbastes, nos anos de 2016 e 2019, sendo que, aos oitos anos de plantio, o espaçamento das árvores era 30 m x 4 m.

Tabela 2. Materiais genéticos de eucalilpto utilizados em URTs de ILPF e arranjos de plantio (adaptado de Nicodemo et al., 2012)

Material	Arranjo	Densidade (plantas/ha)
Corymbia citriodora	18 m x 2 m	277
Clone GG100 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*)	20 m a 16 m x 1 m (plantio feito acompanhando o terraço)	500 a 625
Clone GG100 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*) e VM58 e VM01 (híbridos de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*)	3 Linhas (3 m x 2 m) + 30 m a 40 m (plantio feito acompanhando o terraço)	416 a 326
E. grandis, *E. saligna*, *E. pellita*, *E. dunnii*, *E. urophylla* clones I144, I224, C219 e H13 (híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*) clone COP 1277 (híbrido de *E. grandis* x *E. camaldulensis*)	3 Linhas (3 m x 2 m) + 12 m a 40 m (plantio feito acompanhando o terraço)	833 a 326

Foto: José Ricardo Macedo Pezzopane

Figura 3. Área experimental da Embrapa Pecuária Sudeste. ILPF com ¨urograndis¨ e gado de corte, São Carlos, SP.

Esta área tem servido de base para o desenvolvimento de estudos sobre diversos aspectos do funcionamento deste tipo de sistema. Dentre os trabalhos realizados destacam-se os estudos sobre o efeito do sombreamento na produtividade e qualidade da pastagem (Pezzopane et al., 2019b, 2020) e aspectos de produção e conforto animal (Mahlmeister et al., 2015; Pezzopane et al., 2019a, Giro et al., 2019). Na area experimental também são desenvolvidos trabalhos sobre o efeito desses sistemas na temática ambiental, com estudos sobre emissões de metano (Sakamoto et al., 2015), fertilidade

do solo e sequestro de carbono (Bernardi et al., 2017, 2018) e balanço de emissões de gases de efeito estufa (Oliveira et al., 2017) nos sistemas integrados com o eucalipto. O manejo das árvores e seu efeito no microclima e produção dos sistemas também esta sendo estudado (Pezzopane et al, 2018a, 2018b). A área também serve de base para estudos de viabilidade econômica, conforme publicado por Vinholis et al. (2013).

Em 2017, na Embrapa Pecuaria Sudeste foi implantada uma area de 13 ha de pastagem arborizada com eucalipto (*Corymbia citriodora*), na densidade de 165 árvores por hectare, no espaçamento de 20 m x 3 m. Nessa area experimental a pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguas foi implantada em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. Avaliações estão sendo realizadas nessa area para estudar essas duas estratégias de implantação da pastagem em um sistema arborizado.

Considerações finais

O uso do eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, no Bioma Mata Atlântica, tem-se mostrado uma alternativa viável tanto do ponto de vista técnico-econômico quanto do ponto de vista ambiental, na medida em que proporciona aumento e diversificação de renda, pela facilidade de manejo e multiplicidade de usos, diminuindo a pressão sobre os remanescentes florestais nativos.

Conforme se pode observar, para cada região estudada, existem diversas alternativas de materiais genéticos mais adequadas às suas peculiaridades. Entretanto, ainda são necessários conhecimentos, notadamente relacionados ao manejo do eucalipto ao longo do ciclo destes sistemas, visando o controle do sombreamento e a manutenção de níveis satisfatórios de produção do sub-bosque, que devem ser obtidos pela pesquisa científica.

Referências

AB'SABER, A. N. **Ecossitemas do Brasil**. São Paulo: Metalivros, 2006. 299 p.

AGUIAR JÚNIOR, A. L. **Influência do arranjo espacial e do clone em características dendrométricas e no crescimento de eucalipto em sistema agrossilvipastoril**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ARRUDA, M. B. (org.). **Ecossistemas brasileiros**. Brasília, DF: Edições IBAMA, 2001. 49 p.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; MAZZUCO, G. G.; ESTEVES, S. N.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Spatial variability of soil fertility in an integrated crop livestock forest system. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, p. 590-593, 2017. DOI: https://doi.org/10.1017/S2040470017001145.

BERNARDI, A. C. C.; ESTEVES, S. N.; PEZZOPANE, J. R. M.; ALVES, T. C.; BERNDT, A.; PEDROSO, A. F.; RODRIGUES, P. H. M.; OLIVEIRA, P. P. A. Soil carbon stocks under integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Atlantic Forest region. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 21., 2018, Rio de Janeiro, RJ. **Proceedings** [...]. Rio de Janeiro, RJ: International Union of Soil Sciences; Sociedade Bras de Ciência do Solo, 2018.

BRIGHENTI, A. M.; CALSAVARA, L. H. F.; MÜLLER, M. D.; VAROTTO, Y. V. G. Fitossociologia de plantas daninhas em áreas de integração lavoura-pecuária. **Livestock Research for Rural Development**, v. 28, n. 12, 2016.

BRIGHENTI, A. M.; MÜLLER, M. D.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C. Weed control and boron nutrition on Eucaliptus in silvopastoral system. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 18, p. 39-46, 2015.

CAMARGO, E. F.; PONTES, L. S.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; COPLA, J. F.; VALENGA, J. C. S.; JESUS, R. A.; CARVALHO, P. C. F. Relação entre altura e massa de forragem de uma pastagem anual de inverno em sistema silvipastoril. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ARBORIZAÇÃO DE PASTAGENS EM REGIOES SUBTROPICAIS, 1., 2013, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. p. 57-63. (Embrapa Florestas. Documentos, 268).

CARDOSO, D. J.; FRANCISCON, L.; GARRASTAZU, M. C.; ROSOT, M. A. D.; FIORUCCI, L. H. Equações volumétricas para árvores em sistema silvipastoril e em plantio puro de *Eucalyptus dunnii*. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 5., 2015, Curitiba. **Novas tecnologias florestais**: anais. Curitiba: Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal, 2015.

GIRO, A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BARIONI JUNIOR, W.; PEDROSO, A. F.; LEMES, A. P.; BOTTA, D.; ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N.; GARCIA, A. R. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377.

GUERREIRO, M. F.; NICODEMO, M. L. F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Vulnerability of ten eucalyptus varieties to predation by cattle in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 89, p. 1-7, 2015.

JORGE, D. L. **Estimação volumétrica de ávores em sistema silvipastoril**. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; MAGNABOSCO; C. U. **Sistema SantaFé**: tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 38). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/208449.

LIMA, M. A.; PACIULLO, D. S. C.; MORENZ, M. J. F.; GOMIDE, C. A. M.; RODRIGUES, R. A. R.; CHIZZOTTI, F. H. M. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. **Grass and Forage Science**, v. 74, p. 1-11, 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/gfs.12395.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 242, p. 71-85, 2008.

MAHLMEISTER, K.; LEMES, A. P.; AZENHA, M. V.; ESTEVES, S. N.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A. Desempenho de bovinos Canchim em sistemas integrados de produção pecuária. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUARIA SUSTENTÁVEL, 7., 2015, Viçosa, MG. **Anais** [...]. Viçosa, MG: [s. n.], 2015. v. 1. p. 789-793.

MARTINS, C. E.; MÜLLER, M. D.; PYLES, M. V.; SALLES, T. T.; BRIGHENTI, A. M.; CALSAVARA, L. H. F.; PACIULLO, D. S. C. Taper questions for tree diameter and volume estimation in silvipastoral systems. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

MEDRADO, M. J. S.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; DERETI, R. M.; MAIER, T. F.; PINTON, A. L. M. **Danos provocados em eucalipto por bovinos criados em sistema silvipastoril no município de Cruzmaltina, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 243). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/664241.

MÜLLER, M. D.; BRIGHENTI, A. M.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; PACIULLO, D. S. C. Relações hipsométricas para eucalipto estabelecido em monocultivo e sistema silvipastoril. In: CONGRESSO FLORESTAL NO CERRADO; SIMPOSIO SOBRE EUCALIPTOCULTURA, 3., 2013, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: UFG/Win Eventos, 2013. p. 448-449.

MÜLLER, M. D.; NOGUEIRA, G. S.; CASTRO, C. R. T. PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. de F.; CASTRO, R. V. O.; FERNANDES, E. N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148-1153, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000005.

MÜLLER, M. D.; PYLES, M. V.; CALSAVARA, L. H. F.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; BRIGHENTI, A. M.; SOUZA SOBRINHO, F. Efeito da intensidade de desrama em diferentes clones de eucalipto em sistemas silvipastoris. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO LEITE, 13., 2015, Porto Alegre. **Anais** [...]. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2015. 4 p.

MÜLLER, M. D.; SALLES, T. T.; PACIULLO, D. S. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. R. T. Equações de altura, volume e taper para eucalipto e acacia estabelecidos em sistema silvipastoril. **Floresta**, v. 44, p. 473-484, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i3.33149.

MAY P. H.; TROVATTO, C. M. M. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2008. 196 p.

NICODEMO, M. L.; SANTOS, C. E. S.; CARPANEZZI, A. A.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; VINHOLIS, M. M. B.; BORGES, W. L.; SANTOS JUNIOR, H. A.; TOKUDA, F.; PELISSON, G. J. B.; GUERREIRO, M. F.; MARTINES, L.; BOTELHO, A. A.; RODRIGUES, L. L. ; SILVA, G. S.; FREITAS, R. S.; MORAES, L. **Adequação ambiental e sistemas silvipastoris e propriedades rurais pecuárias do Estado de São Paulo**: relatório de atividades. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2012 (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 107). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1040370.

OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; MEO FILHO, P.; BERNDT, A.; PEDROSO, A. F.; BERNARDI, A. C. C. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., Pato Branco, 2017. **Palestras**: intensificação com sustentabilidade. Cascavel: UTFPR, 2017. p. 23-32.

OLIVEIRA NETO, S. N. de; PAIVA, H. N. Implantação e manejo do componente arbóreo em Sistema Agrossilvipastoril. In: OLIVEIRA NETO, S. N.; VALE, A. B.; NACIF, A. P.; VILAR, M. B.; ASSIS, J. B. (org.). **Sistema agrossilvipastoril**: integração lavoura, pecuária e floresta. Viçosa, MG: Arka, 2010. v. 1. p. 15-68.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L.J. M.; MORENZ. M. F.; LOPES, F. C. F; ROSSIELLO, R . O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; GOMIDE, C. A. M.; FERNANDES, P. B.; ROCHA, W. S. D.; MÜLLER, M.; ROSSIELLO, R. O. P. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 5, p. 598-603, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000500014.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; GOMIDE, C. A. M.; MAURÍCIO, R. M.; PIRES, M. de F. A.; MÜLLER, M. D.; XAVIER, D. F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 1-2, p. 166-172, 2011a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012.

PACIULLO, D.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R.; FERNANDES, E. N.; MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; XAVIER, D. F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1176-1183, 2011b. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000009.

PAES LEME, T. M.; PIRES, M. F. A.; VERNEQUE, R. S.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J.M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 668-675, 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000300023.

PENA, R. F. **Análise Silvicultural de Clones de Eucalipto e Características Produtivas do Pasto em Sistema Silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Floresta) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; AZENHA, M.V.; OLIVEIRA, P .P. A.; BOSI, C.; PEDROSO, A. F.; ESTEVES, S. N. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 2, p. 1-10, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0150.

PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; BOSI, C.; OLIVEIRA, P. P. A.; MARCONATO, M. H.; DE FARIA, A. P.; ESTEVES, S. N. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 39-49, 2019b. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-017-0149-7.

PEZZOPANE, J. R. M.; BONANI, W. L.; BOSI, C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. F. Redução da competição em sistema agrossilvipastoril pelo desbaste de árvores de eucalipto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 9., 2018, Viçosa, MG. **Anais de resumos expandidos**. Viçosa, MG: UFV, 2018a. v. 1. p. 1866-1869.

PEZZOPANE, J. R. M.; BONANI, W. L.; BOSI, C.; BERNARDI, A. C. C.; VOLPE, L. L. Efeito do desbaste de eucaliptos na incidência da radiação fotossinteticamente ativa em sistema silvipastoril. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 9., 2018, Viçosa, MG. **Anais de resumos**. Viçosa, MG: UFV, 2018b. v. 1. p. 1870-1873.

PEZZOPANE, J. R. M.; NICODEMO, M. L. F.; BOSI, C.; GARCIA, A. R.; LULU, J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, v. 79, p. 103-111, 2019a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015.

PONTES, L. S.; TULLIO, G. F.; MARTINS, A. S.; MOLETTA, J. L.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Corn yield for silage and grains in different integrated crop-livestock systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 315-323, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20180036.

PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras**: implantação e manejo. Colombo: Embrapa, 2009. 48 p .

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MOLETTA, J. L.; PONTES, L. S.; OLIVEIRA, E. B.; PELISSARI, A.; CARVALHO, P. C. F. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, p. 67-76, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.67.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. O sistema silvipastoril no Paraná: uma sinopse. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO, 3., 2015, Maringá. **Anais**. Maringá: Sthampa, 2015. p. 253-272.

PYLES, M. V.; MÜLLER, M. D. JORGE, D. L.; NOGUEIRA, G. S. Efficiency of volumetric equations in silvopastoral systems. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 378.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. **Excentricidade da medula em *Grevilea robusta* e *Corymbia citriodora* cultivados em sistema silvipastoril**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 248). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/879654.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. **Produção de grevílea e eucalipto em sistema silvipastoril na região do Arenito Caiuá, noroeste do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 31 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 231). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/921012.

RAKOCEVIC, M.; LAVORANTI, O. J.; MEDRADO, M. J. S. Mudanças na morfologia de Brachiaria brizantha como conseqüência do manejo inadequado em um sistema silvipastoril. In: SIMPÓSIO EM ECOFISIOLOGIA DAS PASTAGENS E ECOLOGIA DO PASTEJO, 2., 2004, Curitiba. **Anais** [...]. Curutiba: UFPR, 2004.

RAKOCEVIC, M.; RIBASKI, J. Propriedades fisiológicas e estruturais de braquiária (*Brachiaria brizantha* Hochst. ex A. Rich) em consórcio com eucalipto (*Eucalyptus citriodora* Hook.) em um sistema silvipastoril no noroeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos**: sustento da vida e sustento de vida: anais. Ilhéus: CEPLAC, 2002.

RESENDE, L. O.; PINTO, L. F. G.; ZEN, S.; CULLEN JUNIOR, L.; REGO, L. F. G.; MÜLLER, M. D. Análise financeira do sistema silvipastoril na pecuária de corte. In: BARBOSA, B. C.; RESENDE, L. O.; PREZOTO, F.; GONÇALVES, E. L. (org.). **Tópicos em Sustentabilidade & Conservação**. Juiz de Fora, 2017., v.1. p. 58-69.

RIBASKI, J.; RAKOCEVIC, M. Disponibilidade e qualidade da forragem de braquiária (*Brachiaria brizantha*) em um sistema silvipastoril com eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) no noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos**: sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais: CEPLAC, 2004.

RIBASKI, J.; RAKOCEVIC, M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Avaliação de um sistema silvipastoril com Eucalipto (*Corymbia citriodora*) e Braquiária (*Brachiaria brizantha*) no noroeste do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo, SP. **Anais** [...]. São Paulo, SP: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.

ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; SOUZA SOBRINHO, F.; MÜLLER , M. D.; BRIGHENTI, A. M.; SOUZA, E. M. B. Perda de solo em sistemas silvipastoris na zona da mata mineira. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 12., 2017, Juazeiro, BA. **Construindo pontes entre o ensino, a pesquisa e a extensão**: anais. Petrolina: Univasf: Embrapa Semiárido: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Sertão de Pernambuco, 2017.

SAKAMOTO, L. S.; BERNDT, A.; LEMES, A. P.; MAHLMEISTER, K.; VILAS BOAS, D. F.; MÉO FILHO, P. de; PEZZOPANE, J. R. M.; ESTEVES, S. N.; BERNARDI, A. C. de C.; PEDROSO, A. de F.; ALVES, T. C.; OLIVEIRA, P. P. A. Enteric methane emissions of Canchim steers in five crop-livestock-forest integrated system. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Towards sustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

SANTAROSA, E.; MELLO, I. B. de; DERETI, R. M.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; BONATO, J. A.; GOULART, I. C. G. dos R.; PINTO, A. F. Estimativa do volume de madeira em unidades de referência tecnológica com sistema agrossilvipastoril. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ARBORIZAÇÃO DE PASTAGENS EM REGIOES SUBTROPICAIS, 1., 2013, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. p. 81-92. (Embrapa Florestas. Documentos, 268).

VENTURIN, R. P.; GUERRA, A. R.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; MESQUITA, H. A. Sistemas agrossilvipastoris: origem, modalidades e modelos de implantação. **Informe Agropecuário**, v. 31, p. 16-24, 2010.

VINHOLIS, M. M. B.; COLA, G. G.; NICODEMO, M. L. F.; SANTOS, P. M.; KALATZIS, A. E. G.; RASSINI, J. B.; FREITAS, A. R.; SILVA, V.; CARPANEZZI, A. A. **Estudo da viabilidade econômica de sistemas de produção agrossilvipastoris em São Carlos, SP**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos 112). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/969653.

XAVIER, D. F.; LEDO, F.; PACIULLO, D.; PIRES, M. F. A.; BODDEY, R. M. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 1214-1219, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000014.

XAVIER, D. F.; LEDO, F.; PACIULLO, D.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J.; BODDEY, R. M. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 99, p. 45-62, 2014.

33

O eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Bioma Pampa

Helio Tonini
Jorge Ribaski
Rodolfo César Forgiarini Perske
Marco Antônio Karam Lucas

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

No Brasil, o bioma Pampa está restrito ao estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), onde ocupa uma área de 176.496 km², correspondendo a 63% do território estadual e a 2,07% do território brasileiro (Brasil, 2019). Suas pastagens nativas de clima subtropical representam um patrimônio natural, genético e cultural de importância global.

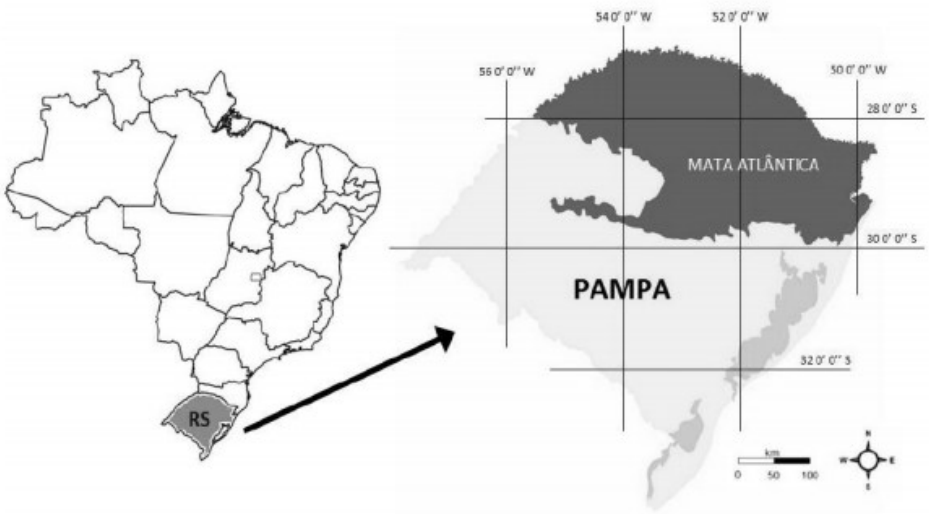


Figura 1. Localização geográfica do Rio Grande do Sul e do bioma Pampa.
Fonte: Santos e Silva (2011).

Os campos nativos que originalmente formavam a paisagem predominante ainda são determinantes na economia, cultura e modo de vida da sociedade e têm na pecuária extensiva a sua vocação e principal atividade econômica, concentrando, aproximadamente, 70% do rebanho bovino de corte (Boldrini et al., 2010; Barcellos et al., 2015).

No entanto, a baixa produtividade e rentabilidade da pecuária tradicional praticada na região têm sido determinantes na conversão dos campos nativos em outras atividades econômicas, como as lavouras e a silvicultura (Ribaski et al., 2012), resultando na descaracterização da paisagem campestre. Segundo Trindade et al. (2018), atualmente, os campos ocupam 35,73% da área no bioma Pampa e o seu uso na criação em regime extensivo tem se concentrado em solos rasos e com horizonte B textural.

O Rio Grande do Sul é o estado com o maior percentual de área utilizada em sistemas integrados, com 1,4 milhão de hectares, representando 20% da área cultivada (ILPF em números, 2016). O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) é o

predominantemente adotado, sendo representado pelas rotações das lavouras de verão (arroz irrigado, milho e soja) com pastagens de inverno, tais como a aveia-preta (*Avena strigosa*e), o azevém anual (*Lolium multiflorum*) (Carvalho et al., 2011).

O eucalipto no Pampa

O eucalipto é a espécie florestal de uso mais tradicional na região. Na região sul no Pampa gaúcho, foi introduzida no início do século 19, após a revolução Farroupilha ocorrida entre 1835-1845, provavelmente oriundo do Uruguai. Nesta região está tradicionalmente associado à paisagem rural, na forma de pequenos maciços chamados capões (Figura 2), implantados como quebra ventos, como abrigo para o gado para promover o bem-estar animal, para o fornecimento de lenha, mourões de cerca e madeira para construções, nas propriedades rurais (Ageflor, 2016).

Foto: Helio Tonini

Figura 2. Capão de eucalipto em propriedade rural no bioma Pampa.

Segundo a Associação Gaúcha de Empresas Florestais (Ageflor, 2019), os plantios comerciais de eucalipto no RS tiveram origem em 1930, com a iniciativa da Viação Férrea do Rio Grande do Sul (VFRGS), para a produção da madeira para dormentes e para abastecer as locomotivas a vapor. Em 1970 foram realizados plantios visando à obtenção de madeira sólida para movelaria e construção, pela Florestamentos do Sul (Flosul) com sua base florestal estabelecida no litoral norte, e nos municípios de Rio Grande e Encruzilhada do Sul. Porém, o grande estímulo aos plantios de florestas no estado ocorreu com o estabelecimento de incentivos fiscais ao reflorestamento no Brasil (Lei nº 5.106, 1966), que originou a base florestal que desenvolveu a atual cadeia produtiva estadual.

Novas políticas nacionais de incentivos aos plantios florestais estabelecidas a partir de 2000, como o Programa Nacional de Florestas (PNF-2000), o Programa Nacional de Agricultura Familiar - Pronaf Florestal e, principalmente, o Proflora, criaram incentivos financeiros para atrair empreendimentos florestais para a chamada "Metade Sul" formada pelos municípios que compõem o bioma Pampa.

Esta região apresenta condições desejáveis para o estabelecimento de grandes plantações com características edafoclimáticas e de relevo favoráveis; o predomínio de grandes propriedades que facilita a aquisição e o arrendamento de grandes áreas contínuas e boa condição logística com estradas, ferrovias e proximidade ao Porto de Rio Grande (Binkowiski, 2009) e, neste contexto, foram atraídos investimentos de empresas de celulose e papel e de madeira sólida.

A partir de então, houve um rápido crescimento da silvicultura, tornando a região um grande polo florestal em um espaço relativamente curto de tempo, sendo que, atualmente, 2,62% da área total do bioma está sob uso da silvicultura (Trindade et al., 2018).

Dos seis polos florestais do Estado, quatro estão localizados no Pampa (Figura 3) com área plantada de eucalipto perfazendo cerca de 300 mil hectares, somando-se os dados fornecidos pelo Conselho Regional de Desenvolvimento (Coredes) apresentados pela Associação Gaúcha de Empresas Florestais em 2017 (Ageflor, 2017).

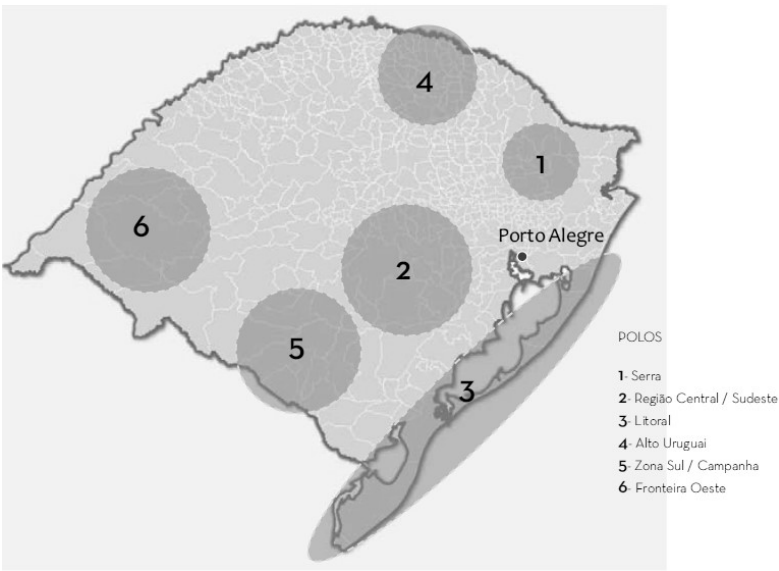


Figura 3. Polos florestais no estado do Rio Grande do Sul.
Fonte: Ageflor (2016).

No entanto, fatores como a crise econômica mundial de 2007-2008, indefinições jurídico-institucionais, restrições e limitações impostas à atividade pelo Zoneamento Ambiental da Silvicultura, bem como os impedimentos legais para a aquisição de terras por empresas estrangeiras na faixa de fronteira, levaram ao não estabelecimento das plantas industriais e o seu deslocamento para outros Estados da Federação.

Apesar da pequena proporção de área ocupada pela silvicultura no Pampa, a rápida expansão das florestas plantadas de eucalipto foi a causa de grandes discussões na sociedade e motivo de um grande conflito ambiental. Os argumentos a favor da expansão da silvicultura envolviam os investimentos das empresas propiciando a geração de empregos e a diversificação da matriz produtiva na região, com a incorporação de pequenos, médios e grandes produtores no plantio de florestas. Os argumentos contrários consideravam a perda da biodiversidade dos campos nativos e da qualidade visual e da beleza cênica do bioma que faziam parte da formação da cultura, da identidade regional e do modo de vida do cidadão gaúcho (Pereira, 2018).

Neste contexto, o emprego de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), especialmente a integração pecuária-floresta (IPF) ou sistemas silvipastoris pode ser uma importante alternativa de uso sustentável da terra ao propiciar a diversificação da renda na propriedade rural, por meio da produção de madeira e, ao mesmo tempo, valorizar a pecuária e os campos nativos, evitando a sua conversão em outras atividades com base no monocultivo (Ribaski et al., 2012).

A adoção de plantios florestais em sistemas silvipastoris, em que a possibilidade de supressão de um componente pelo outro é deliberadamente reduzida, possibilitando a produção simultânea de carne, forragem e madeira, pode conciliar desenvolvimento, tradição e modernidade. Este sistema de produção é capaz de permitir um aumento na renda do produtor sem gerar grandes impactos nos recursos forrageiros naturais, respeitando a vocação histórica e cultural dos produtores rurais da região (Varella; Ribaski, 2008). A introdução do componente florestal na propriedade rural, por meio da ILPF, pode ainda contribuir significativamente para uma maior estabilidade e proteção dos solos arenosos que, no bioma Pampa, abrangem 1,4 milhão de hectares e são considerados de altíssima fragilidade (Souto, 1994).

Histórico de pesquisa com sistemas de ILPF e iniciativas promissoras

As primeiras experiências visando integrar plantios florestais às atividades agropecuárias no Rio Grande do Sul se fundamentaram em estudos de caso que procuraram integrar a pecuária à floresta, inserindo ruminantes dentro do sub-bosque de plantios comerciais de eucalipto e de acácia-negra (Silva et al., 2011).

Os trabalhos de pesquisa se iniciaram em 1992, com um estudo de caso realizado no Horto Florestal Tipuana, em florestas comerciais de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* estabelecidas em Arroio dos Ratos, no âmbito de um projeto desenvolvido em parceria pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (URFGS) e a Empresa Riocell, atual Celulose Rio Grandense (CMPC), que contou com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs). O objetivo foi monitorar e quantificar a interação solo-árvore-pastagem-animal-microclima (Silva et al., 2011).

Em 1994, novas áreas experimentais com um clone de *Eucalyptus saligna* foram estabelecidas na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS) em Eldorado do Sul. Nesta proposta, além do emprego de uma densidade arbórea convencional para monocultivos (1.666 árvores ha^{-1}), foram testadas densidades arbóreas reduzidas (833 árvores ha^{-1}), conjuntamente com a implantação de uma pastagem cultivada submetida a diferentes níveis de oferta de forragem aos animais (Silva et al., 2011).

Diversos trabalhos científicos foram conduzidos nesse projeto, com destaque para o monitoramento micrometeorológico, a identificação de espécies e cultivares de forrageiras de clima temperado tolerantes ao sombreamento e a avaliação do ganho de peso de um grupo de novilhas e terneiros. As revisões de Carvalho et al. (2011), Silva et al. (2011) e Varella et al. (2016) destacaram detalhadamente os principais resultados obtidos nestes experimentos.

Após este período, houve uma grande redução no suporte financeiro às pesquisas deste tema realizadas na região subtropical e os estudos foram interrompidos, o que gerou uma grande lacuna no conhecimento científico, pela ausência de acompanhamento em um ciclo produtivo completo (Varella et al., 2016). No entanto, pelo agravamento do processo de arenização dos solos na região sudoeste e a expansão da silvicultura no Pampa, novas iniciativas surgiram, destacando-se aqui as seguintes:

Os programas Poupança Florestal e Floresta à Mesa

O programa Poupança Florestal objetivou o desenvolvimento da propriedade rural por meio da diversificação com plantios de eucalipto. Iniciado no Rio Grande do Sul em 2005, fruto da parceria entre Votorantim Celulose e Papel, hoje Suzano Papel e Celulose, e a Emater/RS-Ascar, foram plantados 13.634 hectares de florestas de eucalipto em 269 propriedades rurais de 26 municípios localizados nas regiões sul e Campanha. As adesões ao programa no RS ocorreram até 2008, quando a crise mundial direcionou os investimentos da companhia para o Mato Grosso do Sul.

O produtor acessava o financiamento para a implantação da floresta que era liberado em seis parcelas e contava coma assistência técnica no planejamento, plantio e tratos culturais. As mudas foram doadas pela empresa e o planejamento, a capacitação

dos produtores e prestadores de serviço e o acompanhamento técnico foram realizados pelos técnicos da Emater/RS. Todas as áreas foram licenciadas pelo órgão ambiental estadual.

O produtor assinava um contrato de compra e venda da madeira com a empresa florestal, com valores e taxas fixadas, facilitado pelas garantias da empresa ao banco. Os produtores também poderiam optar por espaçamentos alternativos para a produção agrossilvipastoril, sendo o corte e o transporte da madeira realizado pela empresa.

Em 2006 foi lançado o Programa Floresta à Mesa onde a empresa fez a doação de sementes de espécies agrícolas para o plantio em consórcio com o eucalipto. Foram fornecidas sementes de milho, aveia-preta, sorgo, girassol, trigo, melancia, abobora etc, que foram semeadas nas entre linhas e entre renques das árvores, no primeiro ano (Figura 4).

Fotos: Rodolfo César Forgiriani Perske

Figura 4. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta com eucalipto e sorgo (A) no verão; trigo no inverno (B), girassol no verão do ano seguinte, aos 14 meses (C) e a posterior integração com bovinos de corte (D) em plantio de eucalipto estabelecido no programa Poupança Florestal.

A densidade arbórea predominante nos plantios em sistema de ILPF foi 1.250 árvores ha^{-1}, com renques de fileiras triplas. O espaçamento predominantemente adotado foi (3 m x 1,5 m) x 10 m, implantado em 4.100 hectares na Região da Campanha. A distância de 10 m entre os renques propiciou a mecanização do plantio e da colheita agrícola durante o primeiro ano e a produção de pastagem para atividade pecuária, a partir do segundo ano.

Mesmo em espaçamentos convencionais como o de 4 m x 1,5 m (1.667 árvores ha^{-1}), os produtores plantaram milho no primeiro ano, obtendo boa produtividade. As observações de campo permitiram verificar que as lotações de gado até o terceiro ano do plantio não se alteraram em relação à quantidade de cabeças que existiam antes da implantação florestal.

Os consórcios se mostraram vantajosos tanto para as culturas agrícolas como para a floresta e os animais. O consórcio com a pecuária, principal atividade da região, se mostrou muito vantajoso, com a adesão de um grande número de pecuaristas da região de Bagé, município com a maior área plantada de eucalipto pelo programa. Observou-se que os animais jovens como terneiros, com peso em torno de 180 kg, podem entrar na floresta a partir do segundo ano ou quando o tronco das árvores atinge um diâmetro de 4 cm a 5 cm. Para os animais adultos, as árvores devem ter mais de 5 cm de diâmetro do tronco. Os animais exercem um bom controle da vegetação herbácea, o que diminui os gastos com roçadas e, por outro lado, estão abrigados do frio e calor excessivo, desde que se mantenha a disponibilidade de pasto na quantidade adequada.

Uma das dificuldades citadas pelos pecuaristas foi o manejo do gado no meio da floresta que é dificultado pela falta de visibilidade ocasionada pelas árvores e algumas vezes associada a fragmentos de matas nativas. Para minimizar esse problema, alguns pecuaristas adotaram o cocho com sal para atrair os animais e o uso de sino no pescoço de alguns. O ideal em grandes plantios florestais é mapear os paradouros do gado que são locais onde o rebanho permanece nos momentos em que não está pastando, deixando sem plantio uma área aproximada de 1 a 2 hectares no entorno. Outra recomendação é a manutenção das cercas internas, mesmo que desnecessárias as florestas, para facilitar o manejo do gado. A colheita da madeira vem ocorrendo desde 2014, com as florestas em idades entre 10 a 12 anos e gerando valores anuais líquidos aos produtores rurais de R$ 1.200,00 por hectare. Graças a esta receita, os produtores investiram em tratores, veículos, casas na cidade, infraestrutura (mangueira, banheiro, balança para o gado), tratamento particular de saúde e quitação de dívidas rurais de outras atividades agropecuárias.

Introdução de sistemas silvipastoris em solos sob processo de arenização, no sudoeste gaúcho

Uma das primeiras experiências com sistemas de integração pecuária-floresta no Pampa ocorreu no município de Quarai. A demanda por plantios florestais de forma integrada com a atividade pecuária partiu de um grupo de pecuaristas que procuraram a Embrapa para receber orientações sobre quais as espécies florestais a serem plantadas e quais deveriam ser os arranjos nos sistemas de integração pecuária-floresta.

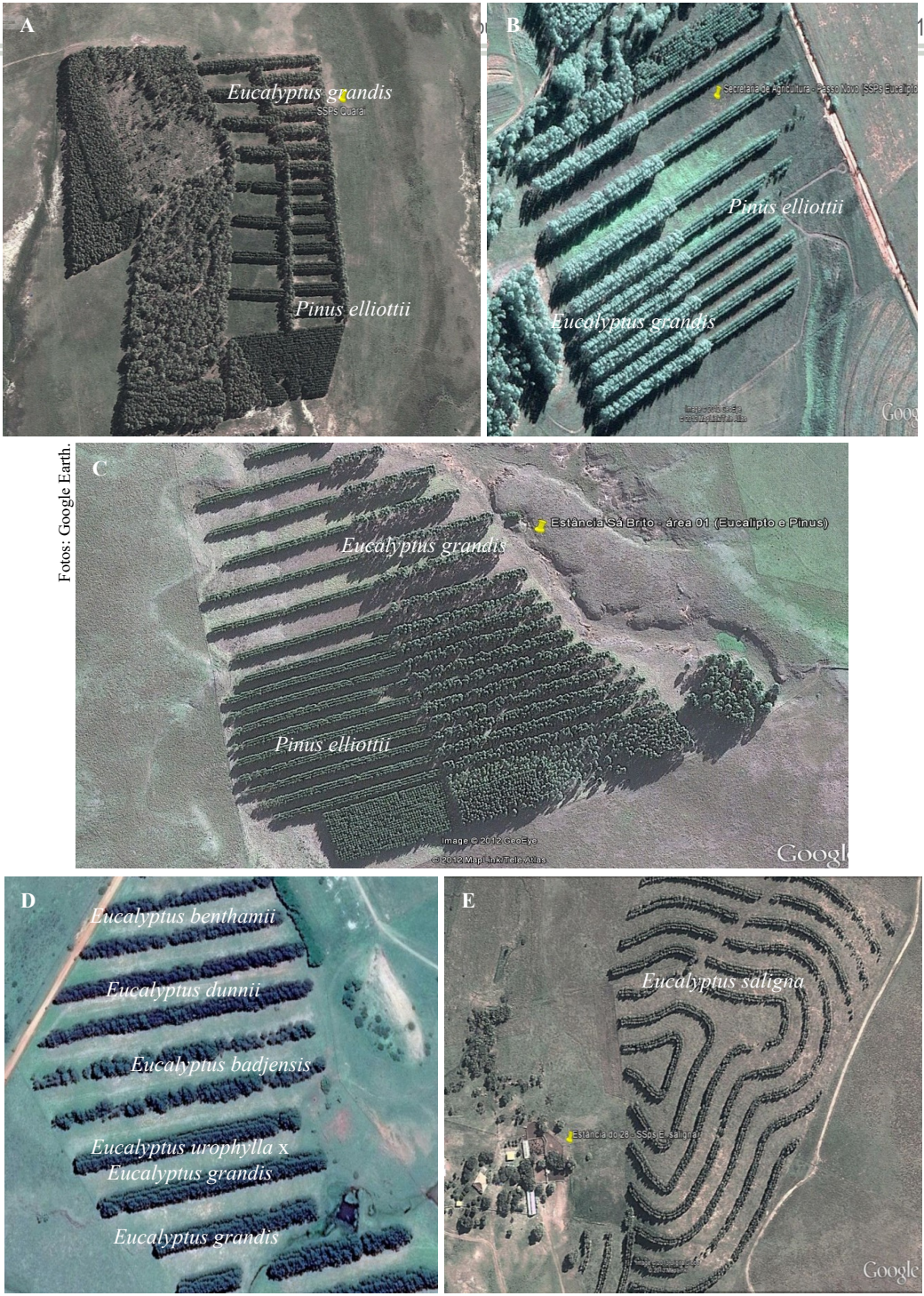
Para atender a demanda, pesquisadores das Unidades da Embrapa Florestas, Pecuária Sul e de Clima Temperado estiveram reunidos com produtores locais e agentes da extensão rural do município, por diversas ocasiões e, como resultados dessas reuniões técnicas, foram selecionadas duas propriedades para a implantação das Unidades de Referência Tecnológicas (URTs) com sistemas silvipastoris, em áreas com solos arenosos suscetíveis à erosão.

Os materiais genéticos florestais utilizados nesse estudo foram *Eucalyptus grandis* (sementes obtidas de plantios dessa espécie no Uruguai) e *Pinus elliottii*. Essas espécies foram plantadas em renques com linhas triplas, distanciadas entre si em 14 m e 34 m, formando corredores destinados às pastagens e criação de bovinos e, ou ovinos. A distância entre linhas de árvores nos renques foi 3,0 m e o espaçamento entre árvores nas linhas foi 1,5 m, resultando em densidades iniciais de 1.000 árvores ha^{-1} e 500 árvores ha^{-1}, respectivamente, para cada uma das duas espécies florestais selecionadas (Figura 5A).

Posteriormente, em 2002, devido à repercussão da instalação dos experimentos no município vizinho e para atender uma demanda de produtores de Alegrete, RS, assistidos pela Secretaria de Agricultura e Pecuária e pela Fundação Maronna, que é uma entidade não-governamental de direito privado criada com a finalidade de prestar apoio técnico-científico à atividade agropecuária, foram selecionadas mais duas propriedades nesse município, com o mesmo tipo de solo, ou seja, formações arenosas de alta fragilidade natural.

A metodologia para a implantação das URTs foi a mesma utilizada nas áreas experimentais implantadas no município de Quarai, no entanto, apesar das espécies plantadas serem as mesmas (*Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*), os materiais foram geneticamente superiores aos anteriores e as mudas foram produzidas no viveiro da Embrapa Florestas. Também, as operações de preparo de solo, combate às formigas cortadeiras, plantio e manutenção foram coordenadas por pesquisadores das Unidades da Embrapa Florestas e Embrapa Clima Temperado.

Foram instaladas, simultaneamente, duas URTs, uma ocupando nove hectares na Secretaria de Agricultura e Pecuária do município (Figura 5B) e outra com área de 26 hectares na Estância Sá Brito, pertencente a uma família de produtores rurais, previamente selecionados com o apoio da Fundação Maronna (Figura 5C).



Fotos: Google Earth.

Figura 5. (A) Vista da URT implantada no município de Quarai, RS em 2000; (B) URTs implantadas em Alegrete, RS, no ano de 2002 em uma área pertencente à Secretaria de Agricultura e Pecuária e (C) também na Estância Sá Brito; (D) disposição das diferentes espécies de *Eucalyptus* na área da URT implantada em Alegrete, em 2005; (E) URT com *E. saligna*, implantada em 2009, na Sede de campo da Fundação Maronna.

Os dados dendrométricos de *Eucalyptus grandis* (diâmetro a altura do peito - DAP e a altura total da árvore) obtidos nessas duas áreas, aos sete anos de idade, serviram de base para uma análise da viabilidade econômica de diferentes sistemas de produção de madeira de eucalipto (Ribaski, 2017) e outros artigos técnico-científicos (Ribaski et al., 2009; Ribaski, 2018).

No final de 2005, com o objetivo de avaliar o desempenho de cinco diferentes materiais genéticos de eucalipto, em relação à sobrevivência, produtividade florestal e sortimento de madeira produzida em sistema silvipastoril, uma nova URT foi implantada no município de Alegrete, com a utilização de materiais com boa tolerância a geadas, mas ainda não testados nessa região.

Foram utilizados renques com linhas triplas, distanciados 30 m entre si, formando corredores destinados às pastagens e criação de bovinos e, ou ovinos. A distância entre as linhas triplas nos renques foi 3,0 m e o espaçamento entre árvores nas linhas foi 2,0 m, resultando numa densidade inicial em torno de 400 árvores ha^{-1}. Esse delineamento correspondeu a 22,2% de área ocupada pelas faixas dos renques de árvores, sendo o restante destinado à pastagem (77,8%). A área total do experimento ocupou em torno de sete hectares, ou seja, aproximadamente 1,4 ha por material genético (Figura 5D).

Os materiais genéticos utilizados nesse estudo foram o clone híbrido SVR 3709 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), as espécies *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. badjensis* e *E. grandis*. Esta última, utilizada como testemunha por ser a mais comumente plantada na região.

Como resultados, em termos de sobrevivência, crescimento e produtividade florestal, se destacaram *Eucalyptus grandis* e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* (Ribaski, 2018). Assim, esses materiais genéticos podem ser recomendados para uso em sistemas silvipastoris com configurações e características ambientais da presente região de estudo (bioma Pampa).

E. grandis foi a espécie que propiciou os maiores retornos financeiros em termos de receita bruta por hectare, em razão dos maiores diâmetros (DAPs) obtidos e, consequentemente, do maior percentual de volume de madeira destinado para serraria, agregando assim maior valor a madeira produzida. Os dois materiais desenvolvidos experimentalmente pela Embrapa Florestas, *E. dunnii* (cultivar BRS 9402) e *E. benthamii* (cultivar BRS 8801) não tiveram bom desempenho em termos de percentuais de sobrevivência e crescimento volumétrico de madeira, nas condições estudadas. Em razão do alto percentual de mortalidade e pelo inexpressivo volume de madeira produzido, a procedência de *E. badjensis* utilizada nesse ensaio não deve ser recomendada para plantios em condições ambientais análogas a que foi desenvolvida a pesquisa.

Finalmente, em 2009, foi implantada a última URT com IPF no município de Alegrete, com o componente florestal *Eucalyptus saligna*. A escolha da área experimental teve o apoio da Fundação Maronna.

Para a área experimental foi selecionada na Estância do 28, uma área representativa (solos arenosos) de aproximadamente 30 hectares, para instalação do sistema silvipastoril. A área em questão sofreu diferimento por um período de um ano antes do plantio da espécie florestal.

No sistema silvipastoril foram utilizados renques de linhas triplas (3,0 m entre linhas e 1,5 m entre plantas). Em razão da área não apresentar topografia plana, as mudas foram plantadas em nível, visando à conservação dos solos (Figura 5E). Com a disposição das mudas nesse arranjo espacial resultaram corredores destinados à atividade pecuária com distância média de 24 m (o que representa uma ocupação média de 667 árvores ha^{-1}). Esse sistema deverá ser avaliado comparativamente ao sistema tradicional de uso da terra praticado pelos produtores rurais (pecuária extensiva).

Estudo de caso na região Sudoeste do Rio Grande do Sul

Com o objetivo de verificar o potencial do sistema de IPF para uso nessa região, foi realizada a análise da viabilidade econômica de diferentes sistemas de produção de madeira com eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden), implantados em 2002, em duas propriedades rurais, no município de Alegrete, RS. A análise econômica considerou a comparação entre um sistema tradicional de pecuária da região e dois sistemas alternativos de conversão da área de pecuária para plantios homogêneos de eucalipto, em duas densidades, com 2.222 árvores ha^{-1} e 1.111 árvores ha^{-1} e dois sistemas silvipastoris: com 1.000 e 500 árvores/ha (Tabela 1).

Tabela1. Espaçamentos e densidades de plantio para *Eucalyptus grandis* em cada uma das alternativas analisadas.

Alternativas	Tratamentos	Espaçamentos	Densidades
1	Pecuária extensiva	-	-
2	Plantios homogêneos	3 m x 1,5 m	2.222 árvores/ha
3	Plantios homogêneos	3 m x 3 m	1.111 árvores/ha
4	Sistema silvipastoril 1	(3 m x 1,5 m) x 14 m	1.000 árvores/ha
5	Sistema silvipastoril 2	(3 m x 1,5 m) x 34 m	500 árvores/ha

Fonte: Ribaski et al. (2009).

No sistema de integração pecuária-floresta foram utilizados renques com linhas de plantio triplas, formando corredores destinados às pastagens e criação de bovinos e/ou ovinos. Este tipo de arranjo triplo permite maior incidência de radiação nas entrelinhas das árvores, sem reduzir drasticamente o número de árvores por área, mantendo ainda uma cobertura arbórea adequada à proteção dos solos, dos animais e da pastagem.

As árvores nos diferentes sistemas de produção foram manejadas de duas maneiras distintas. Um corte raso aos sete anos e posterior exploração da rebrota das

árvores (talhadia simples), resultando na obtenção de matéria prima basicamente para fins energéticos. Também foi adotado o manejo diferenciado para as alternativas 2, 3, 4 e 5 que consistiu do desbaste de 70% das árvores, aos sete anos de idade, deixando os outros 30% de árvores remanescentes de melhor qualidade para serem cortadas aos 14 anos de idade, juntamente com o corte da segunda rotação. Este método também conhecido como "exploração com remanescentes" visa à obtenção de árvores com maiores diâmetros, com aproveitamento da madeira de qualidade para serraria (Ferraz Filho et al., 2014).

O sistema tradicional de criação extensiva de bovinos de corte na área de produção consiste do crescimento e acabamento de novilhos, o que requer em média dois hectares por cabeça (Miguel et al., 2007). Para fins de cálculo, a produtividade média anual considerada foi aproximadamente 60 kg de peso corporal ha^{-1} (Carvalho et al., 2006; Pillar et al., 2006).

Entretanto, outras pesquisas mostram que o baixo desempenho de animais, obtidos em campo nativo, pode ser melhorado com procedimentos simples que não causam aumento substancial nos custos de produção (Castilhos et al., 2009; Nabinger et al., 2009; Ruviaro et al., 2016). Assim, com base nesses estudos, para fins de cálculo, foi feita uma simulação onde foi considerada uma produtividade média anual de 180 kg de peso corporal ha^{-1} (Ribaski, 2018).

Para realizar o estudo da análise da viabilidade dos diferentes sistemas de produção foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) equivalente à média do rendimento da poupança real (poupança nominal menos inflação). Para um período de dez anos a poupança nominal média foi 10,57% enquanto a inflação, expressa pelo índice nacional de preços ao consumidor (INPC), teve variação média de 6,85%, o que resultou em uma poupança real de 3,72%, que foi aplicada como TMA para a avaliação das alternativas (Tabela 2)

No cenário com a produtividade média anual de 60 kg ha^{-1} de peso vivo, os sistemas silvipastoris sem desbaste não se mostram viáveis, apresentado valores da TIR abaixo da TMA (3,72%). Já as alternativas com plantios homogêneos se apresentaram viáveis economicamente, tanto sem desbaste quanto com desbaste.

Por outro lado, a adoção do manejo com desbaste, em todas as alternativas, promoveu um maior incremento da produtividade total. Isso refletiu em valores de TIR superiores àquelas que foram manejadas por talhadia simples, sendo mais lucrativos, exceto o sistema silvipastoril com uma densidade de 500 árvores por hectare.

Este aumento é esperado uma vez que o desbaste de 70% das árvores no sétimo ano promove a abertura do povoamento e, consequentemente, a diminuição da competição por luz, água e nutrientes por parte das árvores remanescentes. O desenvolvimento destas árvores produz fustes com maiores dimensões e madeira de melhor qualidade, própria para a utilização em serraria, obtendo-se um maior valor pela matéria-prima produzida (Figura 6).

Tabela 2. Resultados dos cálculos da TIR para as diferentes alternativas analisadas, com e sem desbaste, extraídos dos fluxos de caixa, ao longo de um período de 21 anos.

	Alternativas	TIR (%)[(1)]	TIR (%)[(2)]
Sem desbaste	1 – Pecuária extensiva tradicional	<0	<0
	2 – Plantio homogêneo (2.222 árvores/ha)	5,36	6,65
	3 – Plantio homogêneo (1.111 árvores/ha)	6,62	8,25
	4 – Sistema silvipastoril (1.000 árvores/ha)	1,76	5,17
	5 – Sistema silvipastoril (500 árvores/ha)	1,03	5,79
Com desbaste	1 – Pecuária extensiva tradicional	<0	<0
	2 – Plantio homogêneo (2.222 árvores/ha)	8,28	9,25
	3 – Plantio homogêneo (1.111 árvores/ha)	8,19	9,42
	4 – Sistema silvipastoril (1.000 árvores/ha)	6,55	8,74
	5 – Sistema silvipastoril (500 árvores/ha)	3,41	6,64

[(1)]Produtividade animal: 60 kg ha ano de peso vivo; [(2)]Produtividade animal: 180 kg ha ano de peso vivo (simulação).

Fonte: Ribaski e Ribaski (2018).

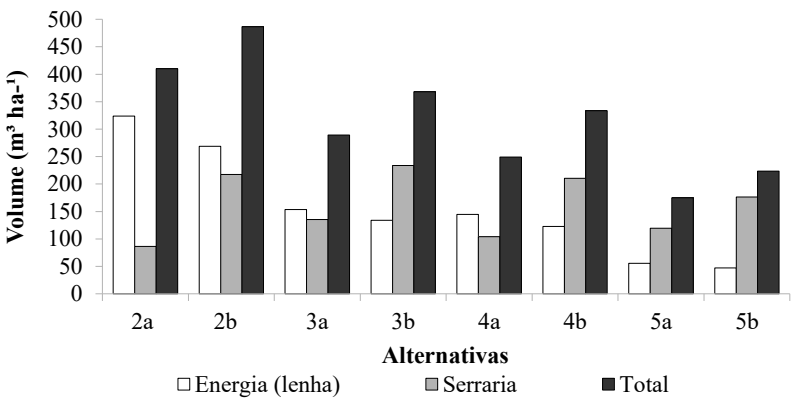


Figura 6. Produção total de madeira para energia e serraria nas diferentes alternativas, sem e com desbaste, em um ciclo de 14 anos. a) manejo sem desbaste, b) manejo com desbaste seletivo de 70% das árvores, no sétimo ano.

Fonte: Ribaski et al. (2009).

Esses resultados mostram que a utilização de um povoamento florestal para produzir diversos produtos representa uma vantagem competitiva para empreendedores florestais, agregando flexibilidade na comercialização de produtos e reduzindo riscos de perda financeira. Neste contexto, é desejável desenvolver regimes de manejo florestal que promovam a diversificação produtiva (Ferraz Filho et al., 2014).

Com o incremento da produtividade anual animal de 60 kg ha^{-1} para 180 kg ha^{-1} de peso vivo, por meio da simulação (Tabela 2), todas as alternativas testadas, com

exceção da alternativa 1 (pecuária extensiva), apresentaram TIR superiores à Taxa Mínima de Atratividade (TMA = 3,72%), sugerindo, assim, que investimentos em qualificação técnica dos produtores e melhoramento das pastagens devem ser incentivados na região.

Redução de emissões de gases de efeito estufa e sequestro de carbono

As florestas sejam elas nativas ou plantadas, em monocultivo ou em sistemas integrados, têm reconhecido potencial na contribuição da mitigação de gases de efeito estufa (GEE). Assim, a arborização de pastagens é uma opção de manejo que aumenta as entradas de matéria orgânica nos solos e diminui a sua mineralização, promovendo o acúmulo de carbono no solo, especialmente pela sua acumulação no componente arbóreo (Porfírio-da-Silva, 1994; Montagnini; Nair, 2004).

Diante disso, nas mesmas áreas experimentais onde foi realizada a análise da viabilidade econômica dos sistemas de integração pecuária-floresta, também foi estimada a produção de madeira e o estoque de carbono visando avaliar o potencial das árvores no sequestro de carbono e mitigação de gases de efeito estufa.

A prognose de crescimento e produção de madeira e de carbono sequestrado para os sistemas silvipastoris e plantios homogêneos até o final do ciclo foi simulada pelo software SisEucalipto (Oliveira, 2011). Esse software permite prever quando, estimar quanto e como desbastar cada povoamento de eucalipto, além de definir qual a idade ideal para o corte final. Os valores resultantes da análise para volume por hectare e por árvore (m^3), carbono e CO_2Eq (t/ha) aos 21 anos, para *Eucalyptus grandis* são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Volume por hectare e por árvore (m^3), carbono e CO_2Eq (t/ha) aos 21 anos de idade, para *Eucalyptus grandis,* no experimento estudado.

Nº de árvores/ha	*Eucalyptus grandis*			
	Volume m^3/ha	Volume m^3/ árvore	Carbono t/ha	CO_2Eq t/ha
500	256,2	1,71	71,5	262,4
1.000	291,3	1,46	80,2	294,3
1.111	359,0	1,20	98,8	362,6

Fonte: Oliveira et al. (2008).

Em outro estudo similar, comparando o crescimento individual de eucalipto (m^3/árvore) não foram observadas diferenças significativas para a produção de biomassa e sequestro de carbono entre plantio homogêneo e sistemas de integração pecuária-floresta (Silva et al., 2017).

O IPCC aponta que os bovinos constituem uma fonte importante de CH_4 em muitos países devido à grande população e à alta taxa de emissões emitidas. Este sistema é denominado de fermentação entérica, processo digestivo pelo qual os micro-organismos decompõem os carboidratos em moléculas simples para a absorção do fluxo sanguíneo. A quantidade de metano liberada depende do tipo de trato digestivo, idade e peso do animal, bem como a qualidade e quantidade de alimento consumido (IPCC, 2007). O metano (CH_4) possui potencial de aquecimento global (Global Warming Potential – GWP) 23 vezes maior do que o dióxido de carbono (CO_2), principal responsável pelo efeito estufa. Isto equivale dizer que emitir 1 kg de CH_4 tem o mesmo efeito que emitir 23 kg de CO_2 na atmosfera (Signorini, 2007).

Na Tabela 4 pode-se observar a quantidade estimada, nesse estudo, de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4), acumulados nas árvores ao longo de um ciclo de 21 anos.

Tabela 4. Total de Carbono (t/ha ano de CO_2 e CH_4) nos tratamentos testados.

Nº de árvores/ha	*Eucalyptus grandis*			
	CO_2 t/ha ano	CH_4 t/ha ano	Equiv. vacas	Equiv. novilhas
500	12,5	0,60	4,05	8,33
1.000	14,0	0,67	4,54	9,30
1.111	17,3	0,82	5,59	11,39

Fonte: Oliveira et al. (2008).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que as árvores têm potencial para sequestrar o carbono emitido pelo rebanho, já que a lotação nos sistemas estudados é de, no máximo, 0,5 cabeça por hectare e o tratamento que menos sequestra CO_2 (*E. grandis* com 500 árvores por hectare) compensa a emissão de carbono de 4,05 vacas ou 8,33 novilhas.

Uso de sistemas silvipastoris para a recuperação de áreas degradadas com capim-annoni-2

A invasão do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana*) é considerada uma das principais ameaças à sustentabilidade dos sistemas campestres e à pecuária no Sul do Brasil. Por suas características morfofisiológicas, o capim-annoni-2 é suscetível ao sombreamento (Saibro et al., 2004) e esta condição pode proporcionar sua substituição pela utilização da arborização de pastagens e a reintrodução de espécies forrageiras tolerantes ao sombreamento.

Visando disponibilizar esta tecnologia aos produtores, em abril de 2013, a Embrapa Pecuária Sul estabeleceu uma área experimental de 32 hectares no seu campo experimental, com o objetivo de estudar a condução de sistemas silvipastoris com eucalipto, visando à recuperação de área degradadas com o capim-annoni, em área de pastagem nativa na região da campanha (Figura 7).

Foto: Google Earth Foto: Helio Tonini

Figura 7. Área experimental instalada no campo experimental da Embrapa Pecuária Sul, aos 66 meses de idade.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com dois tratamentos em duas repetições. Os tratamentos consistiram em três níveis de luminosidade: arborização com eucalipto (clone de *Eucalyptus grandis* GPC-23) nas densidades de 750 árvores ha^{-1}e 375 árvores ha^{-1} comparados com uma testemunha sem arborização ou sob pleno sol e foram avaliados dois substratos forrageiros (pastagem nativa e nativa melhorada).

O arranjo de plantio foi o de renques triplos, com espaçamentos de (3m x 2m) x 34 m (3m x 2m) x 14 m. Em junho de 2013 a pastagem nativa foi melhorada mediante introdução de espécies forrageiras cultivadas de inverno (azevém anual + cornichão cv. São Gabriel + trevo vermelho E116), na forma de semeadura direta em linha. A primeira avaliação da implantação ocorreu um mês após o plantio (maio 2013) e não foi verificado perdas por estabelecimento.

Como resultados parciais, foram publicados dados de sobrevivência e crescimento inicial das árvores, estabelecimento e desenvolvimento de espécies forrageiras, a composição florística e a frequência das espécies forrageiras nativas e exóticas, o ganho médio diário de peso em bovinos de corte e a análise econômica do sistema (Souza et al., 2014; Tadeo et al., 2014; Maia et al., 2015; Vieira et al., 2015; Rocha et al., 2016).

Vieira et al. (2015) observaram que a presença das árvores, aliadas ao melhoramento da pastagem com introdução de forrageiras como o trevo e o cornichão, contribuíram para a diminuição da presença de capim-annoni-2 na composição florística da pastagem que, inicialmente, se encontrava altamente degradada por esta planta invasora. A porcentagem de capim-annoni presente nas amostras das áreas melhoradas apresentou diminuição significativa, passando de 26% na primavera de 2013 para 13,4% na primavera de 2015.

De agosto de 2014 a abril de 2015 todos os tratamentos estiveram sujeitos ao pastoreio contínuo por bezerros da raça Brangus Ibagé, iniciando-se com 90 bezerros desmamados com peso vivo médio de 120 kg. A taxa de lotação foi ajustada a cada 30 dias, mantendo-se uma oferta de forragem de 14 kg de matéria seca por 100 quilos de peso vivo, sendo o ganho de peso vivo diário obtido mensalmente (Maia et al., 2015).

Segundo Maia et al. (2015), o custo de implantação e manutenção do componente florestal foi U$ 18.830,77 (dólar cotado a R$ 3,25 na época da avaliação) e consistiu da dessecação (glifosato: 5 L por hectare), preparação do solo, calagem (4 toneladas por hectare), aquisição de mudas e plantio, adubação de arranque (NPK 6:30:6) na dosagem de 50 gramas por planta, aplicação de gel, controle de formigas, e roçadas químicas. O custo da implantação e manutenção da pastagem foi U$7.793,85 e incluiu o controle do capim-annoni, com a aplicação de glifosato, 5 L ha^{-1} com o emprego da tecnologia "Campo Limpo" (Perez et al., 2010), fertilização no primeiro ano com 500 kg ha^{-1} de NPK 2:30:15, aquisição de forrageiras de inverno (30 kg de azévem + 10 kg de trevo vermelho +10 kg de cornichão), inoculação, fertilização no segundo ano com 300 kg ha^{-1} de NPK 5:20:20 e ureia em cobertura (50 kg ha^{-1}), controle do capim-annoni com herbicida (glifosato 5 L ha^{-1}). A média de ganho de peso vivo diário foi 1,5 kg por cabeça, para 90 bezerros entre agosto e novembro de 2014; 0,67 kg para 44 bezerros entre novembro e dezembro de 2014 e 0,541 para 16 bezerros entre janeiro e abril de 2015, resultando em uma margem bruta de U$ 6.033,23 até o segundo ano de estabelecimento, chegando-se a conclusão que os custos de implantação do sistema são pagos três anos após a sua implantação.

Os dados dendrométricos das árvores aos 66 meses de idade (Tabela 5) mostram o bom desempenho deste material genético nas condições do estudo, com incrementos

Tabela 5. Dados dendrométricos do plantio, aos 66 meses de idade.

Arranjo (m)	N	M (%)	DAP (cm)	IMA (cm)	H (m)	IMA (m)	VT (m^3)	IMA ($m^3\ ha^{-1}$)
(3 m x 2 m) x 14 m	750	14,9	14,7	2,8	15,1	2,8	108,05	19,64
(3 m x 2 m) x 34 m	375	11,6	14,8	2,8	14,7	2,8	36,68	6,67

N = número de árvores por hectare; NT = número de árvores total; M = porcentagem de mortalidade; DAP = diametro à altura do peito; H = altura média das árvores; IMA = incremento médio anual; VT = volume total por hectare.
Fonte: Os autores

médios anuais em diâmetro e altura de 2,8 cm e 2,8 m, respectivamente, sendo superiores aos obtidos por Ribaski et al. (2005) para *Eucalyptus grandis*, em Alegrete e Quarai com médias de 1,90 cm em diâmetro e 2,0 m em altura, em arranjos com 1.000 (3 m x 1,5 m) x 20 m e 500 (3 m x 1,5 m) x 40 árvores ha^{-1}.

O percentual de árvores com má formação do fuste (tortas e bifurcadas) e com copas quebradas foi baixo (1,2%), o que torna este material promissor para obtenção de madeira roliça e de produtos serrados, que agregam maior valor ao sistema.

Projeto silvipastoril da região da Campanha

O projeto silvipastoril da região da Campanha foi financiado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e contou com a elaboração e participação da Embrapa Pecuária Sul (CPPSUL) em parceria com a Emater/RS-Ascar, Universidade da Região da Campanha (Urcamp), Prefeitura Municipal de Bagé, Instituto Federal Rio Grandense (IFSUL), Secretaria Estadual de Meio Ambiente por meio da Agência Florestal Regional de Bagé e produtores da região.O objetivo foi difundir a tecnologia de integração pecuária-floresta (IPF) entre os produtores da região, buscando, além do conforto térmico, o fornecimento de madeira para uso na propriedade na forma de lenha, estacas, mourões e tábuas, podendo o excedente ser comercializado no mercado.

A partir de setembro de 2013, foram implantadas URTs em 17 propriedades de pecuária familiar com até 300 hectares (Figura 8). Em cada propriedade foi implantado um sistema de IPF, com área de 3 hectares cada, variando o arranjo das árvores em função da topografia local, afloramentos de rochas, área úmidas, de preservação permanente, rede elétrica e açudes (Lucas et al., 2015).

Fotos: Helio Tonini

Figura 8. Unidades de referência tecnológica (URTs) de sistema de integração pecuária-floresta implantadas durante o Projeto Silvipastoril realizado na Região da Campanha, em Bagé, RS.

Nas primeiras URTs implantadas em 2013, o campo nativo foi melhorado pela semeadura do azevém anual (*Lolium multiflorum*), com a finalidade de produzir feno e de assegurar a ressemeadura natural da espécie na área. Em 2014, optou-se pela implantação de um consórcio de espécies forrageiras de inverno associando ao azevém, cornichão (*Lótus corniculatus*) e capim-lanudo (*Holcus lanatus*), consideradas espécies de boa adaptação e produção em ambientes sombreados, rústicas em relação à fertilidade do solo, de boa ressemeadura natural e disponibilidade de sementes para a aquisição (Lucas et al., 2015).

As espécies florestais selecionadas foram *Eucalyptus dunnii de* origem seminal, um clone de *Eucalyptus grandis* (1071) e o clone de hibrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* (EC06) implantados em arranjos com renques simples espaçados em 8 m, 16 m e 24 m e com dois metros entre plantas (625 árvores ha^{-1}, 312 árvores ha^{-1} e 208 árvores ha^{-1}, respectivamente). Em áreas planas, sem risco de erosão, a orientação de plantio dos renques foi norte-sul, para favorecer a entrada de luz no sistema no verão e beneficiar as forrageiras de clima temperado (Lucas et al., 2015). No Rio Grande do Sul, é recomendado o posicionamento norte-sul para beneficiar espécies forrageiras de inverno, principalmente em função da maior inclinação solar neste período (Silva et al., 2011). Os dados dendrométricos médios para 16 URTs implantadas durante a primeira fase do projeto, por material genético e espaçamento utilizados, podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6. Dados dendrométricos em função do material genético e arranjo de plantio, para 16 Unidades de Referência Tecnológicas estabelecidas pelo Projeto Silvipastoril, na Região da Campanha, a partir de 2013.

URTS	Espécie	Idade (meses)	Esp. (m)	N (ha)	M (%)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume total (m^3 ha^{-1})
4	*E. dunnii*	63	8 x 2	526	16,3	17,9	15,8	106,83
			16 x 2	247	20,9	20,0	14,5	53,13
2	*E. dunnii*	58	8 x 2	431	31,1	14,7	11,9	102,15
			16 x 2	252	19,4	18,5	14,6	33,04
			24 x 2	171	17,8	15,2	12,8	25,08
4	*E. grandis*	58	16 x 2	234	24,8	14,8	12,3	26,03
			24 x 2	149	29,8	14,3	10,9	14,07
5	*E. grandis*	70	8 x 2	397	36,5	17,6	17,1	87,05
			16 x 2	180	42,3	19,4	16,4	46,13
			24 x 2	137	34,3	19,05	15,2	31,06
1	*E. urograndis*	56	24 x 2	156	7,5	15,3	13,9	28,70

URTS = número de unidades de referência tecnológicas inventariadas; Esp. = espaçamento de plantio; N = número de árvores por hectare; M = mortalidade; DAP = diâmetro tomado a 1,30 m em relação ao nível do solo.
Fonte: Os autores

A mortalidade variou de 7,5% a 42,3%, com média de 33,7% para *E. grandis* (33,7%), 19,7% para *E. dunnii* e 7,5% para o híbrido *urograndis.* Para *E. dunnii*, no espaçamento de 8 m x 2 m, a média para os incrementos médios anuais em diâmetro, altura total e volume por hectare foram de 3,4 ± 0,23 cm, 2,9 ± 0,31 m e 20,51 ± 3,42 m^3 ha^{-1}, respectivamente. Para o espaçamento de 16 m x 2 m, os valores foram 3,8 ± 0,21 cm; 2,8 ± 0,13 m e 9,46 ± 2,09 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e para o de 24 m x 2 m de 3,1 cm, 2,6 m e 5,19 m^3 ha^{-1}, respectivamente.

Para *E. grandis* (clone 1071) no espaçamento de 8 m x 2 m, os valores médios observados para estas variáveis, na mesma ordem, foram 3,0 ± 0,02 cm; 2,9 ± 0,12 m e 14,93 ± 4,82 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. No espaçamento de 16 m x 2 m, os respectivos valores foram 3,2 ± 0,39 cm; 2,7 ± 0,46 m e 6,78 ± 3,24 m^3 ha^{-1} e, no espaçamento de 24 m x 2 m, os valores foram 3,09 ± 0,47cm, 2,41 ± 0,37 m e 3,94 ± 2,33 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Para o híbrido *urograndis* (clone o EC06) no espaçamento de 24 m x 2 m os valores foram de 3,3 cm, 3,0 m e 6,15 m^3 ha^{-1} ano^{-1}

O percentual de árvores tortas e bifurcadas no primeiro e no segundo terço do fuste variou de 7,5% a 18,1%, com os maiores valores observados aos plantios de *E. dunnii* oriundos de sementes (média de 16,5%). Para o clone 1071 a média foi 11,5% e para o EC06 foi 6,7%, cujos valores indicaram a necessidade de realização de desbastes com o objetivo de eliminar indivíduos dominados e com má formação de fuste (Figura 9B). Com isso, será possível aumentar a qualidade e o volume de madeira comercial do plantio, permitindo maior entrada de luz no sistema, principalmente nos menores espaçamentos (Figura 9A) cujo sombreamento já não permite o bom crescimento das forrageiras.

Os desbastes tiveram início em 2019 (Figura 9C) e a utilização da madeira de desbaste será usada na própria propriedade rural, na forma de lenha e palanques, mourões e tramas tratadas pelo produtor na propriedade, por substituição de seiva ou a sua comercialização à empresa que disponha de uma autoclave na região (Figura 9D).

Em 2020 será iniciada a segunda fase do projeto desenvolvida com a finalidade de aprofundar o conhecimento científico e fornecer subsídios técnicos para consolidar as linhas de financiamento do plano ABC, especificamente na integração pecuária-floresta, disponibilizando, no curto prazo, dados e publicações envolvendo custos, produção e produtividade em sistemas silvipastoris e, no médio e longo prazos, dados e publicações sobre o balanço de carbono e a análise financeira de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com foco no bioma Pampa, no estado do Rio Grande do Sul.

Fotos: Helio Tonini

Figura 9. (A) Sistema silvipastoril com *Eucalyptus dunnii* no espaçamento de 8 m x 2 m, aos 66 meses de idade, com sombreamento excessivo impedindo o bom desenvolvimento das forrageiras; (B) árvores dominadas a serem removidas nos desbastes; (C) Realização do primeiro desbaste em Unidade de Referência Tecnológica do projeto Silvipastoril na Região da Campanha; (D) Madeira de desbaste de eucalipto tratada em autoclave.

Considerações finais

Os resultados obtidos até o momento mostram tendências positivas para a viabilização do uso desses sistemas na região. No entanto, apesar das vantagens potenciais, a utilização do eucalipto em sistemas de integração ainda é muito baixa, com dados oficiais inexistentes. As barreiras para a adoção desta tecnologia são predominantemente culturais, mas também envolvem a carência de informações científicas locais sobre as interações árvore-pastagem-animal e o desconhecimento do mercado regional para os produtos florestais na região, especialmente para a madeira de menores dimensões.

Ainda é necessário avançar no conhecimento sobre práticas de manejo, visando o equilíbrio das interações árvore-pastagem-animal e quantificar o efeito dos benefícios ambientais propiciados pelas árvores sobre a produtividade e a rentabilidade

dos sistemas em ciclos completos. Estas informações serão determinantes na adoção destes sistemas de integração pecuária-floresta na região.

São necessárias políticas estaduais que visem estimular o emprego de sistemas silvipastoris com espécies como o eucalipto, uma vez que permitem a manutenção da pastagem e da atividade pecuária desde que sejam adotados arranjos e manejos adequados.

A grande oferta de madeira de eucalipto oriunda de monocultivos plantados na década passada dificulta a comercialização da madeira fina obtida em desbastes desses sistemas. Neste contexto, deve-se direcionar os novos plantios para uso na propriedade e madeira serrada para comercialização, o que significa utilizar arranjos de plantio com menores densidades arbóreas iniciais sob maiores espaçamentos, evitando, sempre que possível, a realização de desbastes. Para a produção de toras de maiores dimensões para usos mais nobres, ainda são necessários estudos que avaliem a qualidade da madeira produzida nestas condições.

Referências

AGEFLOR. Associação Gaúcha de Empresas Florestais.**A indústria de base florestal do Rio Grande do Sul**: ano base 2015. Porto Alegre, 2016. 96 p.

AGEFLOR. Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **A indústria de base florestal do Rio Grande do Sul**: ano base 2016. Porto Alegre, 2017.60 p.

AGEFLOR. Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **História do setor**. Disponível em: http://www.ageflor.com.br/dados/setor. Acesso em: 1 maio 2019.

BARCELLOS, J. O. J.; PEREIRA, G. R.; VARELLA, A. C.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. do N.; CARDOSO, F. F.; MÉRCIO, T. Z.; MENEGASSI, S. R. O.; LEÃES, A. P. S. Observatório da bovinocultura de corte: uma agenda analítica para a pecuária do Sul. In: JORNADA DO NÚCLEO DE ESTUDOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE E CADEIA PRODUTIVA, 10.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE, 2., 2015, Porto Alegre. **Fronteiras do conhecimento frente a um ambiente de transição na pecuária de corte**: anais. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 225-243.

BINKOWSKI, P. **Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura do eucalipto na "metade sul" do Rio Grande do Sul**. 2009. 212 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOLDRINI, I. L.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETÚBAL, R. B.; TREVISAN, R.; FREITAS, E. M. **Bioma Pampa**: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre: Pallotti, 2010. 64 p.

BRASIL. **Decreto nº 3.420, de 2o de abril de 2000**. Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Florestas. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Decretos/2000/dec_3420_2000_programanacionalflorestas_pnf_revg_dec_2473_1998_altrd_dec_5975_2006_5794_2006.pdf. Acesso em: 13 de julho de 2020.

BRASIL. **Lei nº 5.106, de 2 de setembro de 1966**. Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5106.htm. Acesso em: 5 maio 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pampa**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/biomas/pampa. Acesso em: 5 maio 2019.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 1.946, de 28 de junho de 1996**. Cria o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D1946.htm. Acesso em: 13 de julho de 2020.

CARVALHO, P. C. F.; BARRO, R. S.; KUNRATH, T. R.; SILVA, F. D.; BARTH NETO, A.; SAVIAN, J. V.; PFEIFER, F. M.; TISCHLER, M. R.; ANGHINONI, I. Experiência de Integração Lavoura Pecuária no Rio Grande do Sul. **Synergismus Scyentífica**, v. 6, n. 2, 2011.

CARVALHO, P. C. F.; FISHER, V.; SANTOS dos, D. T.; RIBEIRO, A. M. L.; QUADROS de, F. L. F.; CASTILHOS, Z. M. S.; POLI, C. H. E. C.; MONTEIRO, A. L. G.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; JACQUES, A. V. A. Produção animal no bioma campos sulinos. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 35, nesp, p. 156-202, 2006.

CASTILHOS, Z. M. S.; BARRO, R. S.; SAVIAN, J. F.; AMARAL do, H. R. B. Produção arbórea e animal em sistema silvipastoril com acácia-negra (*Acaciamearnsii*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 60, p. 39-47, 2009.

FERRAZ FILHO, A. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MOLA-YUDEGO, B.The coppice-with-standards silvicultural system as applied to *Eucalyptus* plantations: a review. **Journal of ForestryResearch**. v. 25, p. 237-248, 2014.

ILPF em números. [Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2016]. 12 p. Folder. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/ bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007**: synthesis report. Valencia, 2007. 52 p. Adopted by Sessionat IPCC Plenary XXVII.

LUCAS, M. A. K.; PERSKE, R. C. F.; SOUZA, R. H. V. de; PIMENTEL, D. C. C. **Sistema silvipastoril na região da Campanha do Rio Grande do Sul**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2015. 23 p. (Embrapa Pecuária Sul. Documentos, 142).

MAIA, M. B.; VARELLA, A. C.; LAMPERT, V. do N.; RIBASKI, J.; TADEO, R. W. M.; FRANTZ, A. C. da L.; VIEIRA, I. M. B. P. Economic evaluation of integrated livestock-forest systemat the establishment phase in the southern region of Rio Grande do Sul - Brazil. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Toward ssustainable intensification**: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

MIGUEL, L. A.; MIELITZ NETTO, C. G. A.; NABINGER, C.; SANGUINÉ, E.; WAQUIL, P. D.; SCHNEIDER, S. Caracterização socioeconômica e produtiva da bovinocultura de corte no estado do Rio Grande do Sul. **Estudo & Debate**, v. 14, p. 95-125, 2007.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbonsequestration: na under exploited environmentalbenefitofagroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 281-295, 2004.

NABINGER, C.; FERREIRA, E. T.; FREITAS, A. K.; CARVALHO, P. C. F.; SANT'ANNA, D. M. Produção animal em campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V. P.; MÜLLER S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (ed.). **Campos sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília, DF, 2009. p. 175-198.

OLIVEIRA, E. B. de. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216).

OLIVEIRA, E. B. de; RIBASKI, J.; ZANETTI, E. A.; PENTEADO JUNIOR, J. F. Produção, carbono e rentabilidade econômica de Pinus *elliottii* e *Eucalyptus grandis* em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 57, p. 45-56, 2008.

PEREIRA, F. G. **A expansão da silvicultura sobre o bioma pampa**: impacto além dos campos. Disponível em: http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/ebook02/Artigo%204.pdf. Acesso em: 10 ago. 2018.

PEREZ, N. B. **Controle de plantas indesejáveis em pastagens**: uso da tecnologia campo limpo. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2010. 7 p. (Embrapa Pecuária Sul. Comunicado técnico, 72).

PILLAR, V. D.; BOLDRINI, I. I.; HASENACK, H.; JAQUES. A. V. A.; BOTH, R.; MÜLLER, S. C.; EGGERS, L.; FIDELIS A.; SANTOS, M. M. G.; OLIVEIRA, J. M.; CERVEIRA, J.; BLANCO, C.; JONER. F.; CORDEIRO, J. L.; PINILLOS GALINDO, M. Qual o papel da pecuária na conservação dos campos. In: PILLAR, V. P. (ed.). **Workshop estado atual e desafios para a conservação dos campos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 24 p.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Sistema silvipastoril (Grevílea + Pastagem): uma proposição para aumento da produção do arenito caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1. Porto Velho. **Anais** [...]. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. p. 291-297. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 27).

RIBASKI, J.; DEDECEK, R. A.; MATTEI, V.; LFLORES, C. A.; VARGAS, A. F. C.; RIBASKI, S. A. G. **Sistemas sislvipastoris**: estratégias para o desenvolvimento rural sustentável para a metade sul do estado do Rio Grande do Sul. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 8 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 150). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/312314.

RIBASKI, S. A. G.; HOEFLICH, V. A.; RIBASKI, J.Sistemas silvipastoris com apoio ao desenvolvimento rural para a Região Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 60, p. 27-37, 2009.

RIBASKI, J.; RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, S. A. G. Potencialidad de lossitemassilvopastoriles para laproducción animal sostenibleen Brasil In: CONGRESO COLOMBIANO, 2.; SEMINARIO INTERNACIONAL DE SILVOPASTOREO, 1., 2012, Medellín. **Reforestacionconganaderia, propuestainnovadora y sostenible**. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2012.

RIBASKI, J. **Tecnologias silviculturais para produção de florestas energéticas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 36 p. (Embrapa Florestas. Documentos). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1079910.

RIBASKI, J. Desempenho de espécies de Eucalyptus para uso em sistemas de integração floresta-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018. DOI: https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801638.

RIBASKI, J.; RIBASKI, S. A. G. Sistemas silvipastoris como estratégia de desenvolvimento sustentável para o bioma Pampa no estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 237-241.

ROCHA, S. J. S.; VIEIRA, I. M. B. P.; MAIA, M. B. Presença de capim-annoni (*Eragrostis plana* Ness) na avaliação da composição botânica da pastagem em um sistema Silvipastoril. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA PECUÁRIA SUL, 6., 2016, Bagé. **Resumos** [...]. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2016.

RUVIARO, C. F.; COSTA, J. S. da; FLORINDO, T. J.; RODRIGUES, W.; MEDEIROS, G. I. B. de. VASCONCELOS, P. S.Economic and environmental feasibility of beef production in different feed management systems in thePampa biome, southern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 930-939, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.042.

SANTOS, S.; SILVA, L. G. da. Mapeamento por imagens de sensoriamento remoto evidencia o bioma pampa brasileiro sob ameaça. **Boletim de Geografia**, v. 29, n. 2, p. 49-57, 2011.DOI: https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v29i2.12366.

SAIBRO, J. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; SILVA, J. L. S. da; VARELLA, A. C.; LUCAS, N. M.; SAVIAN, J. F. Gestão de sistemas silvipastoris no Rio Grande do Sul: desempenho animal. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3, 2004, Santa Maria, RS. **Anais** [...]. Santa Maria, RS: UFEM, 2004.

SIGNORINI, P. **O que é carbono equivalente?** 2007. Disponível em: http://scienceblogs.com.br/rastrodecarbono/2007/08/o-que-e-carbono-equivalente/. Acesso em: 22 nov. 2018.

SILVA, A. G. M. F.; SILVA, W. J. M.; TONINI, H.; MORALES, M. M. Crescimento, biomassa e sequestro de carbono de um clone de eucalipto em monocultivo e sistemas integrados. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5., 2016, Sinop. **Anais** [...]. Sinop: Embrapa, 2017. p. 124-127.

SILVA. J. L. S.; VARELLA, A. C.; SAIBRO, J. C.; CASTILHOS, Z. M. S. **Manejo de animais e pastagens em sistemas de integração silvipastoril**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 98 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 335).

SOUTO, J. J. Experiência na região do Alegrete no Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: FCAV–UNESP/SBCS, 1994. p. 169-179.

SOUZA, C. G.; RIBEIRO, L. da S.; MUNHÓS, E. S. L.; PEREZ, N. B.; SISTI, R. N. Comparação entre o ganho médio diário de peso em bovinos em pastagem nativa infestada por capim-annoni e em pastagem em processo de recuperação. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA PECUÁRIA SUL, 4., 2014, Bagé. **Resumos** [...]. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2014. p. 10.

TADEO, R. W. M.; SOUZA, A. L. F. de; BAUERMAN, P. C.; VARELLA, A. C.; MAIA, M. B. Avaliação do estabelecimento e crescimento de eucalipto (E. grandis) em um sistema silvipastoril na região da Campanha do Rio Grande do Sul. In: JORNADA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA, 12.; MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12.; MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA JÚNIOR, 10.; MOSTRA INTERNACIONAL DE FOTOGRAFIA, 2., 2014, Bagé. **Anais** [...]. Bagé: Ediurcamp, 2014.

TRINDADE, J. P. P.; ROCHA, D. S. da; VOLK, L. B. da S. **Uso da terra no Rio Grande do Sul**: ano de 2017. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2018. 18 p.

VARELLA, A. C.; BARRO, R. S.; SILVA, J. L. S. da; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; SAIBRO, J. C. de. **Silvopastoral systems in the cold zone of Brazil**. In: PERI, P. L.; DUBE, F.; VARELLA, A. (Ed.). Silvopastoral systems in Southern South America. [Cham]: Springer International Publishing Switzerland, 2016. p. 231-255. (Advances in agroforestry, 11).

VARELLA, A. C.; RIBASKI, J. **Recomendações para sistemas de integração floresta-pecuária no extremo Sul do Brasil**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2008. 4 p. (Embrapa Pecuária Sul. Circular técnica, 35).

VIEIRA, I. M. B. P.; MAIA, M. B.; MUNHOZ, C. G.; VARELLA, A. C.; FRANTZ, A. C. da L.; TADÊO, R. W. M. Caracterização da composição florística em uma área silvipastoril na região da Campanha. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA PECUÁRIA SUL, 5., 2015, Bagé. **Resumos dos trabalhos** [...]. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2015. p. 11.

34

Potencialidades e desafios para o melhoramento genético de eucaliptos aos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Alisson Moura Santos
Abílio Rodrigues Pacheco

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

O histórico da silvicultura brasileira é marcado pelo grande sucesso obtido no desenvolvimento de tecnologias eficientes para o cultivo de eucaliptos, com elevada produtividade volumétrica de madeira e menor custo de produção, quando comparado com outras espécies florestais (Ferreira; Santos, 1997; Foelkel, 2007; IBÁ, 2017). Os cultivos de eucalipto têm sido realizados nas mais variadas condições ambientais, o que denota a grande adaptação das espécies utilizadas. Entretanto, novos desafios têm surgido a partir das demandas requeridas pelo mercado consumidor, tal como os cultivos sob sistemas de produção, cada vez mais eficientes, no uso dos recursos naturais, com baixo impacto ao ambiente e com geração de produtos em quantidade, qualidade e constância necessárias ao mercado consumidor.

Nesse sentido, tem ocorrido o aumento no cultivo de espécies florestais, especialmente do eucalipto, sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em números, 2016, 2017). Esse sistema consiste em um modelo de exploração agrícola que possibilita integrar, no mesmo espaço e, ou no tempo, componentes agrícolas, animais, arbóreos e forrageiros (Hendrickson et al., 2008; Balbino et al., 2011, 2012; Barcellos et al., 2011). O cultivo sob esses sistemas é reconhecido como uma estratégia sustentável por promover a intensificação do uso do solo e a diversificação de renda, dentre outras vantagens. Nesse cenário, o componente arbóreo deve gerar, no médio e longo prazos, dependendo dos anseios do produtor, do arranjo adotado e do mercado consumidor regional, madeira para as mais diferentes finalidades, como lenha, carvão vegetal, produtos de madeira tratada, serrados e produtos não madeiráveis como óleos essenciais, mel e própolis.

A partir desse modelo de cultivo surgem novos desafios aos pesquisadores e aos produtores rurais. Pelo fato desses sistemas contemplarem cultivos de vários componentes, distribuídos no mesmo espaço e, ou no tempo, são requeridas estratégias de manejo e avaliações que possibilitem o entendimento da dinâmica do desenvolvimento de cada componente e de suas inter-relações. As análises passam a ser realizadas de forma integrada e não isolada, de modo a compreender o efeito que um componente exerce sobre o outro, com obtenção de um entendimento global do sistema.

Os estudos que envolvem o melhoramento genético de eucalipto nesses sistemas ainda são escassos, mesmo no Brasil, que se destaca mundialmente pelo estabelecimento, em larga escala, de monocultivos com clones de elevado desempenho (*plus* ou elites) de algumas espécies como *E. urophylla*, *E. grandis* e seus híbridos interespecíficos (dentre outras espécies ainda usadas em menor escala). Esses clones possuem considerável grau de melhoramento genético (obtido nas últimas décadas) e que permitem a obtenção de elevada produtividade de madeira, em ciclos de curta rotação e com geração de produtos de elevado padrão de qualidade. É importante destacar que, nos últimos anos, tem aumentado o interesse das grandes empresas

produtoras de eucalipto pela ampliação do número de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* (ex-*Eucalyptus*) a serem utilizadas nos plantios, sendo o uso de algumas dessas "novas" espécies calcado, quando possível, na geração de híbridos interespecíficos com clones de elevado desempenho, como *E. urophylla*, *E. grandis* ou *E. urophylla* x *E. grandis* (Assis, 2014; Assis et al., 2015).

Esse é um aspecto relevante, pois os melhoristas estão sempre interessados em fixar grande número de alelos favoráveis nas características de interesse comercial desses clones. Como, em geral, está envolvida grande quantidade de genes (de pequeno efeito e muito influenciados pelo ambiente) no controle genético das principais características (quantitativas ou poligênicas) consideradas nos programas de melhoramento genético de eucalipto (diâmetro, altura, volume de madeira, dentre outras), esses programas têm sido conduzidos via seleção recorrente (Hallauer, 1986; Ramalho, 1993; Resende et al., 2005). A seleção recorrente consiste em um processo cíclico de melhoramento que envolve a obtenção de progênies, avaliação e intercruzamento das melhores árvores, com aumento progressivo da média da característica de interesse e, ao mesmo tempo, a manutenção da variabilidade genética indispensável para a garantia de ganhos futuros com o avanço das gerações (Hallauer, 1986; Ramalho, 1993; Resende et al., 2005). A partir da execução desses ciclos sucessivos de melhoramento, vão se acumulando alelos favoráveis nas características de interesse nos germoplasmas em desenvolvimento (sementes e clones), que se expressam, por exemplo, na obtenção de elevada produtividade da madeira na cultivar utilizada pelo produtor. Ao mesmo tempo, essa cultivar é também usada nas polinizações controladas dentro do programa de melhoramento, para avanço de gerações, seleção e obtenção de novas cultivares ainda mais produtivas.

Essa abordagem se faz necessária no contexto dos sistemas de integração com eucalipto, pois, na medida do possível, o maior número de clones *plus* utilizados nos monocultivos comerciais do Brasil podem ser testados nesses sistemas e os melhores clones aproveitados também nos programas de cruzamentos de melhoramento genético para sistemas de integração. Não se pode desprezar o grande avanço genético obtido até o momento (alelos favoráveis fixados nesses clones), ainda que gerados para condições de monocultivos. Isso não significa que se deva desprezar novas fontes de alelos favoráveis encontradas em outras espécies ainda não usadas ou pouco usadas. A variabilidade genética é sempre bem-vinda, mas deve ser direcionada aos interesses do programa de melhoramento genético.

Em levantamento dos materiais genéticos mais utilizados em sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta, conduzidos pela Embrapa e parceiros, nas regiões Centro-Oeste e Norte, observa-se uma predominância de clones comerciais da espécie *Eucalyptus urophylla* ou que apresenta essa espécie em sua composição interespecífica, em decorrência de sua adaptação às condições ambientais típicas do Cerrado. De forma geral, esses clones têm apresentado boa produção de madeira nas diferentes

localidades testadas, embora tenham sido selecionados originalmente para uso em monocultivos.

Vale frisar que, como as culturas anuais e forrageiras são adubadas a cada ciclo ou a cada ano, respectivamente, observa-se que, quando um clone de eucalipto está bem adaptado ao local de cultivo, a produtividade média de madeira em sistemas de integração tem sido superior à produtividade média nacional de monocultivos, mesmo com o número de árvores por hectare inferior aquele usado nos monocultivos, pois o clone também se beneficia das adubações realizadas nas demais culturas do sistema (Nicoli et al., 2017). Além disso, o fato de um clone ser plantado em maiores espaçamentos nesses sistemas, em relação aqueles utilizados nos monocultivos, contribui para que haja uma menor competição entre plantas e deve, também, contribuir para o aumento da produtividade.

Entretanto, mesmo que os sistemas de integração possam proporcionar maior área por árvore, isso não se torna sinônimo de produção de madeira de qualidade ou livre de problemas. Um problema já relatado, em algumas árvores plantadas nesses sistemas, é a presença de excentricidade da medula, a qual pode produzir uma forma elíptica notada na amostragem de discos de madeira retirados do caule (dependendo dos níveis de competição na linha e na entrelinha/entre renques) (Radomski; Ribaski, 2010). As árvores de eucaliptos podem apresentar altos níveis de tensão de crescimento, as quais estão também correlacionadas com a excentricidade da medula (Trugilho et al., 2004; Radomski; Ribaski, 2010). Essas tensões são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore e que ajudam a manter o equilíbrio da copa, em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e silviculturais (tipo de arranjo no sistema de integração, desbaste, poda e densidade de plantio) (Trugilho et al., 2004; Radomski; Ribaski, 2010). Quando as árvores são derrubadas e suas toras são desdobradas, as tensões de crescimento podem se manifestar rotineiramente, na prática, como rachaduras de tábuas e empenamentos, o que resultará em produto de má qualidade e com menor rendimento das toras no desdobro e no processamento em serrarias (Trugilho et al., 2004; Radomski; Ribaski, 2010). Assim, ações de melhoramento genético em conjunto com manejo silvicultural adequado se tornam relevantes, de modo a amenizar ou eliminar esses problemas.

O eucalipto, além de ser mais plantado em monocultivos, **é** também o componente arbóreo mais utilizado em sistemas de integração no território brasileiro. Isso ocorre em função das várias características que as árvores de eucaliptos possuem e que as aproximam do ideótipo almejado para esses sistemas (Salman et al., 2012; Porfírio-da-Silva, 2015). O eucalipto apresenta facilidade de produção das mudas, protocolo silvicultural bastante conhecido, aptidão para geração de produtos madeiráveis e não madeiráveis (exemplo: mel, própolis, óleos essenciais, dentre outros) de valor comercial, rápido crescimento, baixo ou nenhum potencial tóxico às culturas anuais e aos animais, boa tolerância ao fogo quando rasteiro, boa arquitetura de copa

e menor interferência desta sobre o pasto (quando bem manejado), fuste reto/colunar e longo (com altura mínima superior a 7 m quando adulto), madeira de fácil comercialização em boa parte do território nacional e, algumas de suas espécies, com capacidade de associação com micorrizas, a qual contribui para a fertilidade do solo e beneficia as demais culturas presentes no sistema.

Portanto, a estruturação de um programa de melhoramento genético de *Eucalyptus* e *Corymbia* (ex-*Eucalyptus*), visando à obtenção de cultivares específicas para sistemas de integração, deve levar em consideração todos esses aspectos, de forma a maximizar os ganhos tecnológicos obtidos até o momento no Brasil e, avançar para que os ganhos com o melhoramento específico para esses sistemas sejam também obtidos no futuro. Obviamente, a "cultivar dos sonhos", totalmente livre de problemas não existe em cultura alguma, mas é justamente a função do melhoramento genético lapidar e fornecer a cultivar mais adequada possível aos usuários interessados.

A seguir são apresentadas outras informações pertinentes e que possam contribuir para o delineamento de uma eficiente estratégia de melhoramento de eucaliptos para sistemas de integração.

Definição do objetivo da seleção

A definição do produto a ser obtido com o melhoramento é realizada com base na demanda delineada por parte do mercado consumidor. Os cultivos de eucalipto têm sido realizados, em maior extensão no território brasileiro, com finalidade de produzir madeira para a produção de carvão vegetal; celulose e papel; para geração de energia, seja na forma de carvão vegetal, cavacos, lenha ou licor negro; para a fabricação de painéis de fibras de madeira e de produtos serrados; dentre outros usos (IBÁ, 2017). No contexto dos sistemas de integração, a definição do produto florestal a ser obtido depende não só do mercado consumidor, mas também da quantidade e da constância na oferta da madeira obtida, o que parece demonstrar que a particularidade desses sistemas deve melhor suprir as demandas de mercado para geração de energia, de madeira tratada e de produtos serrados.

Nota-se que os produtos e subprodutos obtidos a partir do eucalipto abrangem uma série de segmentos industriais. Dessa forma, é evidente que há uma série de propriedades tecnológicas da madeira específicas requeridas para cada tipo de indústria, de forma a garantir uma adequada oferta de matéria-prima, ou seja, que seja compatível com a finalidade a que se destina.

A finalidade da madeira irá definir também a (s) escolha (s) da (s) espécie (s) e, ou do (s) híbrido (s) interespecífico (s) de eucalipto (s) a ser (em) incorporado (s) e manejado (s) nos programas de melhoramento genético, bem como balizará todos os

manejos silviculturais conduzidos durante o ciclo de cultivo dentro do programa de melhoramento e, também, no plantio comercial.

Características de interesse no processo seletivo

Na seleção das melhores árvores, conforme já mencionado, é importante que sejam levadas em consideração características de crescimento, propriedades tecnológicas da madeira e de resistência/tolerância a fatores bióticos e abióticos (Fonseca et al., 2010). Em decorrência da seleção ser baseada em várias características, pode-se fazer uso de um índice de seleção para classificação e escolha das melhores árvores (Resende, 2002). Vale lembrar que quanto maior o número de caracteres envolvidos na seleção, menor o ganho de seleção obtido; o que exige do melhorista parcimônia e bom senso. Em algumas fases do processo, pode-se também lançar mão do uso da seleção em tandem e, ou dos níveis independentes de eliminação, dependendo de cada caso (Resende, 2002).

As características quantitativas diâmetro à altura do peito (dap), altura total (ht), altura do fuste (hf) e volume de madeira (vol) são as primordialmente quantificadas, em nível de árvores, nos programas de melhoramento de eucalipto. Além disso, são também importantes coletas de informações quanto à sobrevivência, à forma do fuste ou conicidade do tronco, à retidão do fuste, à espessura da ramificação, à presença ou ausência de bifurcação do tronco, à percentagem de casca e à capacidade de brotação e enraizamento das árvores, sendo essas últimas características essenciais para o sucesso da propagação vegetativa dos materiais selecionados.

No caso específico do uso do componente arbóreo em sistemas de integração, pode-se também pensar no melhoramento de características "secundárias" relacionadas à copa da árvore, de forma que ela interfira, o mínimo possível, negativamente no desempenho dos componentes agrícolas e forrageiros. Vale frisar que esse é um aspecto "fisiológico" delicado e que deve ser visto com cautela, já que a copa contribui diretamente para o crescimento e vigor da árvore, além de atuar beneficamente para o bem-estar do componente animal no sistema. Embora estudos sobre o controle genético de características ligadas ao formato das copas de árvores de eucalipto pareçam ser escassos ou inexistentes, na prática, observa-se variabilidade entre e dentro de espécies, o que denota possibilidade de ganhos com a seleção para esse caráter (Figuras 1 e 2).

Alguns estudos têm procurado entender o comportamento das características de copa das árvores de eucalipto, em monocultivo, em diferentes espaçamentos/arranjos e idades (Wink et al., 2012; Trindade et al., 2019). Essas características podem também contribuir para um maior entendimento sobre o comportamento das árvores de eucalipto nos sistemas de integração, sendo: comprimento de copa (cc), diâmetro

Figura 1. Variação no tamanho das copas de eucalipto, sob mesmo espaçamento e idade, em experimento da Embrapa Florestas, no município de Rio Verde, GO, sendo (A) e (C) *Eucalyptus urophylla* e (B) e (D) *Corymbia maculata.*

Fotos: Alisson Moura Santos

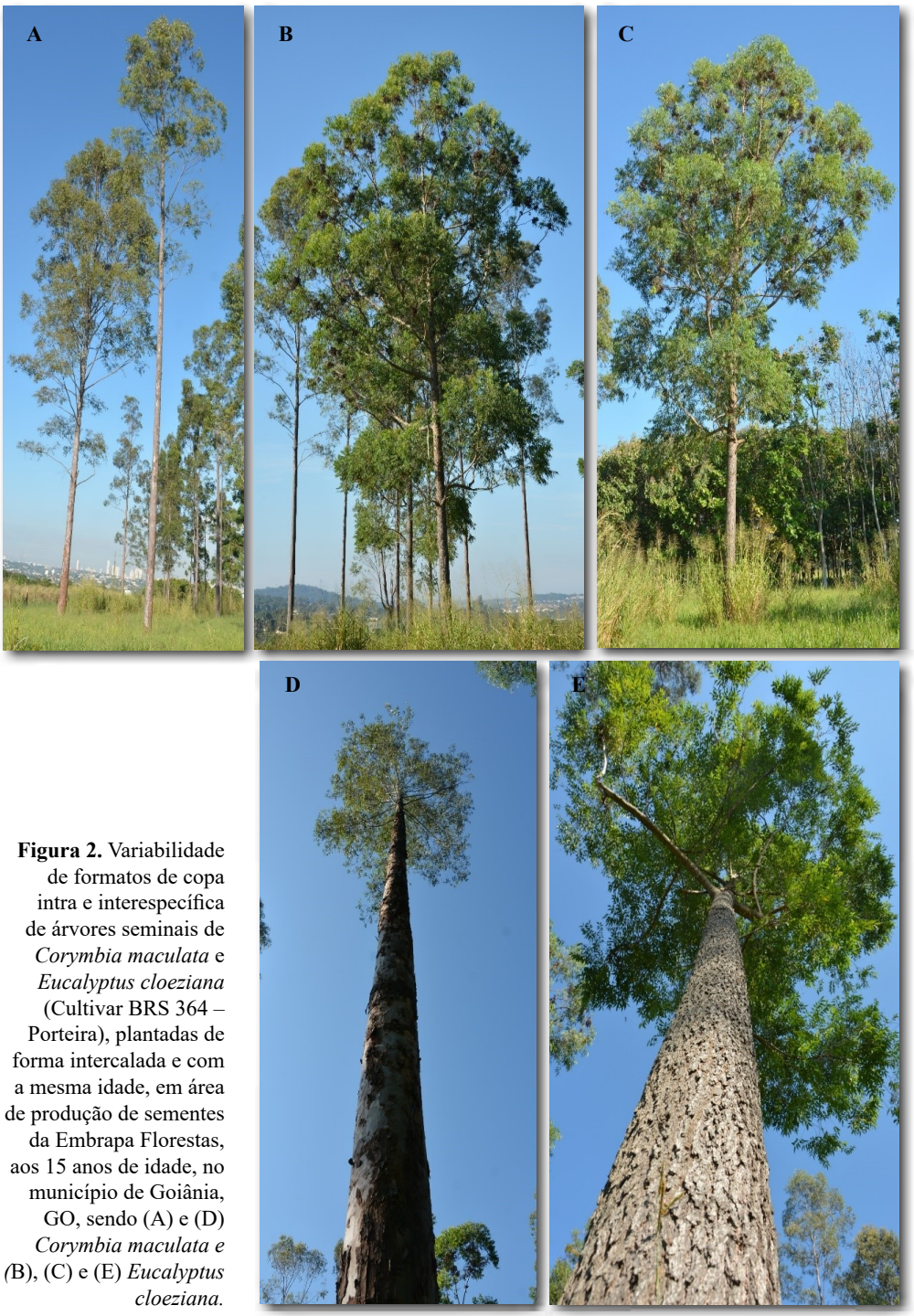


Figura 2. Variabilidade de formatos de copa intra e interespecífica de árvores seminais de *Corymbia maculata* e *Eucalyptus cloeziana* (Cultivar BRS 364 – Porteira), plantadas de forma intercalada e com a mesma idade, em área de produção de sementes da Embrapa Florestas, aos 15 anos de idade, no município de Goiânia, GO, sendo (A) e (D) *Corymbia maculata e* (B), (C) e (E) *Eucalyptus cloeziana.*

de copa (dc), área de projeção de copa (apc = (π¼) dc^2), percentagem de copa (%c = cc/ht 100), forma de copa (fc = dc/cc), grau de esbeltez (GE = ht/dap), índice de abrangência (IA = dc/ht), índice de saliência (IS = dc/dap) e índice de espaço vital (IEV = $(dc/dap)^2$). Além disso, com os avanços obtidos com as geotecnologias, descortinam-se também várias outras possibilidades de avaliações desses caracteres, dentre outros de interesse ao melhoramento genético de espécies arbóreas.

Deve também ser conduzida a avaliação da resistência/tolerância das árvores de eucaliptos quanto aos fatores bióticos (doenças e/ou insetos) e abióticos (estresse hídrico, geadas, ventos, dentre outros) (Fonseca et al., 2010). Em geral, essa avaliação começa a ser realizada já nas mudas em viveiro, com exclusão das mudas comprometidas por pragas e, também, nos testes de progênies e clonais já implantados no campo. Neste caso, as árvores com problemas são automaticamente excluídas por ocasião do processo seletivo. Em fases mais avançadas e, em etapa prévia ao registro da (s) cultivar (es), como medida preventiva, é recomendado realizar um amplo *screening* em laboratório especializado do (s) genótipo (s) selecionado (s). Para esse *screening* é realizada a inoculação de diferentes patógenos causadores de doenças de impacto econômico para o eucalipto, no território brasileiro, com avaliação da tolerância/resistência dos clones. Os clones tolerantes/resistentes são selecionados nessa etapa.

A avaliação das propriedades tecnológicas da madeira das árvores deve ser realizada, conforme já ressaltado anteriormente, de acordo com o produto a ser obtido e utilizado pela indústria de transformação. Dependendo do montante de recurso financeiro disponível, pode ser realizada a avaliação das propriedades tecnológicas da madeira somente das árvores superiores selecionadas nas avaliações das demais características citadas acima. Essa é uma das formas de se reduzir os custos do programa de melhoramento. Por outro lado, pode-se deixar de detectar árvores com alelos favoráveis importantes para propriedades tecnológicas da madeira, mas que, por exemplo, não se destacaram em volume de madeira e que poderiam ser doadoras daqueles alelos em novas recombinações com clones superiores em volume de madeira.

Na seleção de árvores de eucalipto adequadas para uso energético, algumas das principais propriedades tecnológicas da madeira a serem consideradas nos programas de melhoramento genético são: maior densidade básica, maior teor de lignina, maior teor de extrativos, maior poder calorífico da madeira e menor umidade (Rezende et al., 2014).

No processo seletivo de árvores para produção de madeira serrada, as principais características a serem avaliadas são: boa orientação das fibras ou grã direita; ausência de excentricidade da medula; ausência (ou baixo grau) de defeitos como bolsas de *kino*, manchas e nós; maior relação cerne/alburno; densidade básica adequada à finalidade que se destina; ausência (ou baixo grau) de defeitos de secagem como torções, contrações ou retrações da madeira, rachaduras, empenamentos, abaulamentos e colapso; menor proporção de madeira juvenil; coloração da madeira em consonância

com as demandas do mercado consumidor, boa qualidade da superfície usinada e resistência aos ataques de fungos e insetos (Assis, 2001).

Na seleção de árvores para obtenção de madeira adequada ao tratamento em usinas de preservação, as principais características a serem consideradas são: elevada durabilidade natural, ausência de "nós", ausência (ou menor grau) de rachaduras e de fendilhamentos, elevada relação cerne/alburno e baixa umidade.

Planejamento dos experimentos e análises estatísticas

Informações relevantes sobre o planejamento experimental e as análises estatísticas a serem conduzidas em experimentos consorciados de culturais anuais são apresentados em detalhes por Vencovsky e Barriga (1992) e Ramalho et al. (1983, 1993). Entretanto, deve-se considerar que, no caso de sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta, as árvores permanecem por longo período no campo, sendo suscetíveis à interferência de vários fatores, tais como adubações das culturas anuais e das forrageiras e, também, à influência dos animais (danos ao tronco e excrementos), o que pode tornar as análises e, ou compreensões dos efeitos mais complexas. Com base nas explanações apresentadas pelos referidos autores, são listados adiante alguns pontos para reflexão, no âmbito do melhoramento do eucalipto:

- Como há infinitas possibilidades de arranjos de componentes (espécies e híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* e *Corymbia*, espécies agrícolas, espécies forrageiras, espécies e, ou raças de animais, arranjos espaciais, dentre outros), é impossível avaliar todos os genótipos existentes a cada ciclo de melhoramento, em todas as situações. Neste caso, o melhor arranjo/espaçamento/composição do sistema deve ser avaliado caso a caso.
- É relevante estimar a interação entre materiais genéticos (progênies ou clones) e sistemas (monocultivo e consórcio). Para isso, cada material deve ser avaliado nas duas situações.
- O delineamento experimental irá depender do número de materiais a serem avaliados, da disponibilidade de mudas das espécies arbóreas (seminais ou clonais), do tamanho da área disponível, da heterogeneidade do terreno, do tipo de tratamento a ser avaliado e do número de ambientes experimentais.
- A escolha do tamanho da parcela irá depender dos itens anteriormente mencionados. Entretanto, é aconselhável o uso de parcelas contendo o mesmo número de plantas tanto em monocultivo quanto em consórcio ou em número o mais semelhante possível entre eles.

- A avaliação dos genótipos em vários ambientes e, em mais de um ano de plantio, é de vital importância. Deve ser lembrado que, no processo seletivo tradicional de cultivares clonais de eucaliptos no Brasil, os genótipos são avaliados em testes clonais de primeira e segunda fase, seguidos, posteriormente, de plantios clonais pilotos. Essas avaliações são importantes para aferição do desempenho do melhor genótipo, em ambientes contrastantes, que será posteriormente recomendado e registrado como cultivar para uso em determinada zona de melhoramento.

Considerações finais

Ressalta-se que a presente explanação não pretendeu exaurir o assunto, mas sim contribuir para que uma maior reflexão seja feita em prol do melhoramento do eucalipto aos sistemas de integração.

Referências

ASSIS, T. F. de; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento genético do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: Ed. da UFSM, 2015. p. 217-244.

ASSIS, T. F. de. Estratégias de melhoramento para obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria. In: SEMINÁRIO DE MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba, 2001. p. 1-18.

ASSIS, T. F. de. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas. **Anais** [...]. Curitiba: Embrapa, 2014. v. 1. p. 127-148.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. **Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-florestas**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2012. 18 p. (International Plant Nutrition Institute. Informações agronômicas, 138).

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA -SILVA, V.; MORAES, A.; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, 2011. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51887/1/46n10a00Prefacio.pdf.

BARCELLOS, A. O.; MEDRADO, M. J. S.; GRISE, M. M.; SKORUPA, L. A.; ROCHA, W. S. D. Base conceitual, sistemas e benefícios da ILPF. In: BALBINO, L. C; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (ed.). **Marco referencial**: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 23-37.

FERREIRA, M.; SANTOS, P. E. T. Melhoramento genético florestal dos *Eucalyptus* no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT EUCALYPTS=CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador. **Proceedings**...= **Anais**... Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. v. 1. p. 14-34.

FOELKEL, C. As plantações de florestas no Brasil. In: BORÉM, A. (ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2007. p. 12-24.

FONSECA, S. M. da; RESENDE, M. D. V. de; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. da S.; ASSIS, T. F. de; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2010. 200 p.

HALLAUER, A. R. Compendium of recurrent selection methods and their applications. **Critical Review in Plant Science**, v. 3, p. 1-33, 1986.

HENDRICKSON, J. R.; HANSON, J. D.; TANAKA, D. L.; SASSENRATH, G. Principles of integrated agricultural systems: introduction to processes and definition. **Renewable Agriculture and Food Systems** v. 23, n. 4, 265-271. 2008. DOI: https://doi.org/10.1017/S1742170507001718

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. IBÁ: **Indústria Brasileira de Árvores**. Brasília, DF, 2017. 80 p. Relatório Ibá 2017.Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 14 mai. 2019.

ILPF em números. [Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2016]. 12 p. Folder. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/ bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf.

ILPF em números: região 02 - MT, GO e DF. [Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2017]. 16 p. Folder. Disponível em: http:// ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157581/1/2017- cpamt-ilpf-em-numeros-reginal-2.pdf.

NICOLI, C. M. L.; PACHECO, A. R.; REIS, C. F.; VENTUROLI, F. Income diversification through a crop-livestock-forest integration system in the Midwest Brazilian Region. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 7, n. 6, p. 374-385, 2017. DOI: https://doi.org/10.17265/2161-6264/2017.06.002

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Ideótipo de espécie arbórea para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. **Sistemas agroflorestais**: a agropecuária sustentável. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 135-147. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120048/1/Sistemas-Agroflorestais-livro-em-baixa.pdf.

RAMALHO, M. A. P. Emprego da seleção recorrente no melhoramento de essências florestais. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p. 21-37.

RAMALHO, M. A. P.; OLIVEIRA, A. C. de; GARCIA, J. C. **Recomendações para o planejamento e análise de experimentos com as culturas de milho e feijão consorciadas**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1983. 74 p. (EMBRAPA-CNPMS. Documentos, 2).

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações no melhoramento do feijoeiro. Goiânia, GO: Ed. da UFG, 1993. 271 p.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. **Excentricidade da medula em *Grevilea robusta* e *Corymbia citriodora* cultivados em sistema silvipastoril**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 248). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28889/1/CT248.pdf.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. de; REZENDE, G. D. S. P.; AGUIAR, A. M.; BARBOSA, M. H. P. Seleção recorrente e o melhoramento genético do eucalipto no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2005, Lavras. **Anais** [...]. Lavras: UFLA, 2005, p. 59-84.

REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de; ASSIS, T. F. *Eucalyptus* breeding for clonal forestry. In: FENNING, T. M. (org.). **Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st century**: forestry sciences. Dordrecht: Springer Science, 2014. p. 393-424.

SALMAN, A. K. D.; ANDRADE, C. M. S.; GAMA, M. M. B.; OLIVEIRA, L. C.; OLIVEIRA, T. K.; MENDES, A. M.; ASSIS, G. M. L. Método de seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. In: ANDRADE, C. M. S. de; SALMAN, A. K. D.; OLIVEIRA, T. K. **Guia arbopasto**: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 55-90.

TRINDADE, R. N. R.; LAFETÁ, B. O.; AGUIAR, V. F.; SILVA, A. G. da; FERRARO, A. C.; PENIDO, T. M. A.; VIEIRA, D. dos S. Morfometria da copa de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S. T. Blake em diferentes espaçamentos de plantio. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 83-91, 2019. DOI: https://doi.org/10.18671/scifor.v47n121.08

TRUGILHO, P. F.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M. P.; MATOS, J. L. M.; SALDANHA, L. K. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 235- 231, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000500012.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 456 p.

WINK, C.; MONTEIRO, J. S.; REINERT, D. J.; LIBERALESSO, E. Parâmetros da copa e sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 57-67, 2012.

35

O eucalipto e os desafios para a transferência de tecnologias em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

Ladislau Araújo Skorupa
Maurel Behling
Vanderley Porfirio-da-Silva

Foto: Rodolfo Buhrer

Introdução

Pesquisa de adoção de sistemas de ILPF no Brasil realizada na safra 2015/2016 estimou uma área de 11,5 milhões de hectares (ILPF em números, 2016). Entre os produtores adotantes cuja atividade principal era a pecuária, 83% adotavam o sistema de integração na modalidade Lavoura-Pecuária (ILP); 7% na integração Pecuária-Floresta (IPF) e 9% na integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Entre aqueles cuja atuação predominante era a cultura de grãos, 99% adotavam o sistema ILP, 0,2% adotavam o sistema ILF e 0,4% a ILPF em sua propriedade rural (Skorupa; Manzatto, 2019). Esses números, portanto, indicam que a adoção de sistemas de ILPF com a inserção do componente florestal é maior entre os pecuaristas, quando comparado com os produtores de grãos. A pesquisa ainda estimou que a evolução da adoção de sistemas de ILPF entre pecuaristas, no período de 2010/2015, foi 10%, contra 4% entre os típicos produtores de grãos. Embora a inserção do componente florestal esteja em ascensão com o incremento da área total de adoção, estimado em 7,5% ao ano, sua participação é relativamente pequena. Portanto, atualmente o grande desafio da ILPF, enquanto estratégia de sistema de produção e uso da terra, é a consolidação do componente florestal na expansão dos sistemas integrados de produção agropecuária.

As razões para essa baixa inserção têm sido frequentemente debatidas. Alguns argumentos utilizados a respeito disso são a falta de vocação do produtor para a prática da silvicultura; o comprometimento da produção agrícola e pecuária (pastagem) pelo sombreamento; requerimento por maior investimento inicial e com retornos no médio e longo prazos; a falta de conhecimento sobre o mercados de madeira, variações de demandas e preços, entre outros. Nesse sentido, a carência e a baixa disseminação de informações sobre os benefícios potenciais da inserção e manejo do componente florestal podem ser consideradas. A mesma pesquisa sobre a adoção de ILPF no Brasil, referida anteriormente, apontou a existência de poucas informações sobre sistemas de ILPF, como uma das razões para a sua não adoção. Em suma, levando-se em conta o atual nível de conhecimento sobre sistemas de ILPF nas diversas regiões, acredita-se haver um amplo espaço para ações de transferência de tecnologia sobre tais sistemas, incluindo-se oportunidades para ampliação da inserção do componente florestal.

Transferência de Tecnologia em sistemas de ILPF na Embrapa

A evolução do uso de sistemas de ILPF, até sua concepção atual como uma estratégia de produção[1] e com uma visão sistêmica das interações ecológicas entre solo-lavoura-árvore-pastagem-animal-clima e das dimensões espacial e temporal, remonta o início do século passado, com a chegada de imigrantes europeus que trouxeram a cultura da integração dos componentes lavoura, pecuária e florestal, incluindo espécies frutíferas e madeireiras. Desde a sua criação, a Embrapa tem conduzido pesquisas que avaliam sistemas de produção que contemplam rotação de culturas anuais e pastagens (Vilela et al., 2019). A inserção do componente florestal na estratégia de produção tem sido estimulada ao longo da evolução dos sistemas, como uma forma de geração de renda complementar distribuída ao longo do tempo (desbastes intermediários até a colheita final; colheita/exploração de produtos não madeireiros, entre outras), além de ofertar diversos serviços ecossistêmicos, como ambiência animal, conservação de solo e água, ciclagem de nutrientes, mitigação de Gases de Efeito Estufa e melhoria da paisagem rural.

Apesar de as ações de transferência de tecnologia em sistemas de ILPF já ocorrerem no Brasil ao longo de sua evolução, nas diversas regiões, por meio das instituições de ensino, de pesquisa e de extensão rural, houve um notável incremento dessas ações a partir dos anos 2000, com a ampliação do conhecimento e o desenvolvimento de novas tecnologias. Para a Embrapa, um marco importante nesse sentido foi a parceria público-privada firmada com a empresa Bunge, o que possibilitou uma ampliação dos processos de transferência de tecnologia, proporcionando maior visibilidade do tema aos diversos segmentos da sociedade. Nesse período, o tema ILPF recebeu reconhecimento, com sua inserção considerada como um dos seis processos tecnológicos do "Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC" (Brasil, 2012), culminando com sua elevação ao status de política nacional, com a criação da Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Brasil, 2013). Os bons resultados alcançados nessa experiência criaram condições para que o formato de parceria público-privada fosse consolidado para a disseminação e promoção da adoção de sistemas de ILPF. Em 2012, foi criada a Rede de Fomento da ILPF que, além da Embrapa, contava com a parceria de um conjunto de empresas objetivando ampliar a adoção de sistemas de ILPF por produtores rurais, visando a

[1] Conforme o Marco Referencial de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Balbino et al., 2011), a estratégia de ILPF contempla quatro modalidades de sistemas, a saber: Integração Lavoura-Pecuária (ILP); Lavoura-Floresta (ILF); Pecuária-Flo¬resta (IPF) ou Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).

intensificação da produção agropecuária sustentável. Em 2018, a Rede de Fomento da ILPF se transformou na Associação Rede ILPF, com nova estrutura jurídica (Rede ILPF, 2020). Ao longo desse histórico, o uso do eucalipto em sistemas de ILPF tem sido contemplado em projetos de pesquisa e ações de transferência de tecnologia, incluindo a disseminação de seu uso em Unidades de Referência Tecnológica (URTs)[2].

Atualmente, a rede de transferência de tecnologia em sistemas de ILPF da Embrapa conta com 120 (URTs) distribuídas em todos os biomas brasileiros (Figura 1).

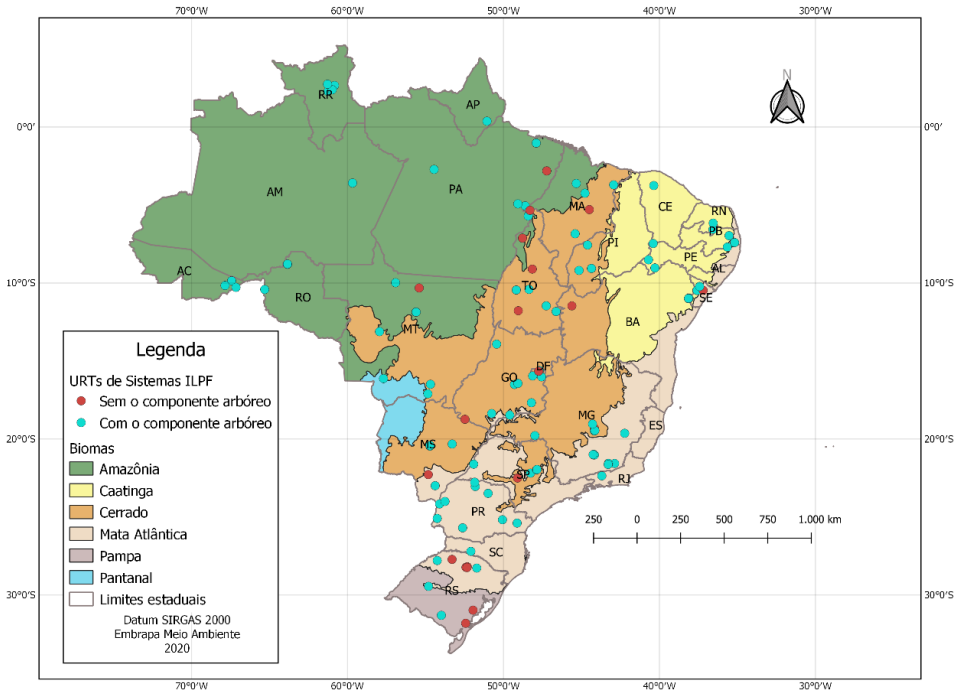


Figura 1. Distribuição das Unidades de Referência Tecnológica (URTs) de sistemas de ILPF nos biomas brasileiros, com e sem a presença do componente arbóreo.

[2] URTs são áreas de produção destinadas a demonstrar tecnologias, sistemas e produtos para a divulgação ou validação de resultados. Elas podem funcionar nas dependências de uma instituição ou em propriedades rurais particulares. Nestas Unidades há a coleta sistemática de informações sobre a evolução dos sistemas implantados, cujos resultados são apresentados e discutidos durante os eventos de transferência de tecnologias (Cordeiro et al., 2015). As URTs são importantes espaços para as ações de transferência de tecnologia, propiciando o envolvimento conjunto de técnicos, pesquisadores e produtores no acompanhamento do desenvolvimento dos sistemas, tornando possível a realização de ajustes e a introdução de inovações, além de agilizar a prospecção de demandas tecnológicas.

O eucalipto e outras espécies florestais utilizadas em sistemas de ILPF

As espécies florestais mais comumente utilizadas em sistemas que contemplam o componente florestal (IPF ou silvipastoril; ILF ou silviagrícola; e ILPF ou agrossilvipastoril) são apresentadas na Tabela 1. Entre as espécies relatadas, o eucalipto aparece em todos os grupos de Estados.

Tabela 1. Espécies florestais mais comumente utilizadas em sistemas ILPF, por conjunto de Estados.

Estados	Espécies	Fonte
AC, AM, AP, RO e RR	Eucalipto, Gliricídia, Teca, Mogno, Mogno-africano, Mulateiro, Ipê, Bordão-de-velho, Cedro-doce, Taxi-branco, Paricá, Cumaru, Castanha-do-Brasil e Andiroba	Martinez et al. (2019)
MT, GO e DF	Eucalipto e Teca; Mogno-africano e Seringueira são utilizados, mas em menor escala.	Wruck et al. (2019)
MA, TO, PI, e Oeste da BA	Eucalipto	Teixeira Neto et al. (2019)
CE, RN, PB, PE, AL, SE e Bahia (exceto oeste)	Gliricídia, Sabiá, Acácia, Coco; Eucalipto em menor escala.	Rangel et al. (2019)
MG, ES, RJ	Eucalipto	Santana et al. (2019)
MS, SP, PR	Eucalipto, Grevílea, Mogno-africano, Cedro- australiano e espécies nativas	Zimmer et al. (2019)
RS, SC	Eucalipto, Pinus, Acácia, Grevílea e espécies nativas.	Fontaneli et al. (2019)

A importância de seu uso em sistemas de ILPF também é evidenciada na sua utilização nas URTs de sistemas de ILPF da Embrapa. Das 120 URTs atualmente ativas, 96 possuem algum dos sistemas que levam o componente florestal (IPF, ILF, ILPF) (Figura 1). Entre elas, 78% tem o eucalipto como componente florestal (Figura 2).

Diversas são as vantagens do uso do eucalipto em sistemas de ILPF, as quais são discutidas em detalhe em outros capítulos da presente publicação. A percepção de suas vantagens tem sido possível pelo elevado conhecimento acumulado de suas espécies e clones nas últimas quatro décadas, merecendo aqui os seguintes destaques quanto ao seu uso em sistemas de ILPF: (i) arquitetura de copas favorável para manejo e uso com lavoura e pastagem intercaladas e, ao mesmo tempo, provedora de sombra para os animais; (ii) não toxicidade para animais, culturas e pastagem; (iii) precocidade e adaptabilidade; (iv) grande diversidade de genótipos validados para uso em diferentes

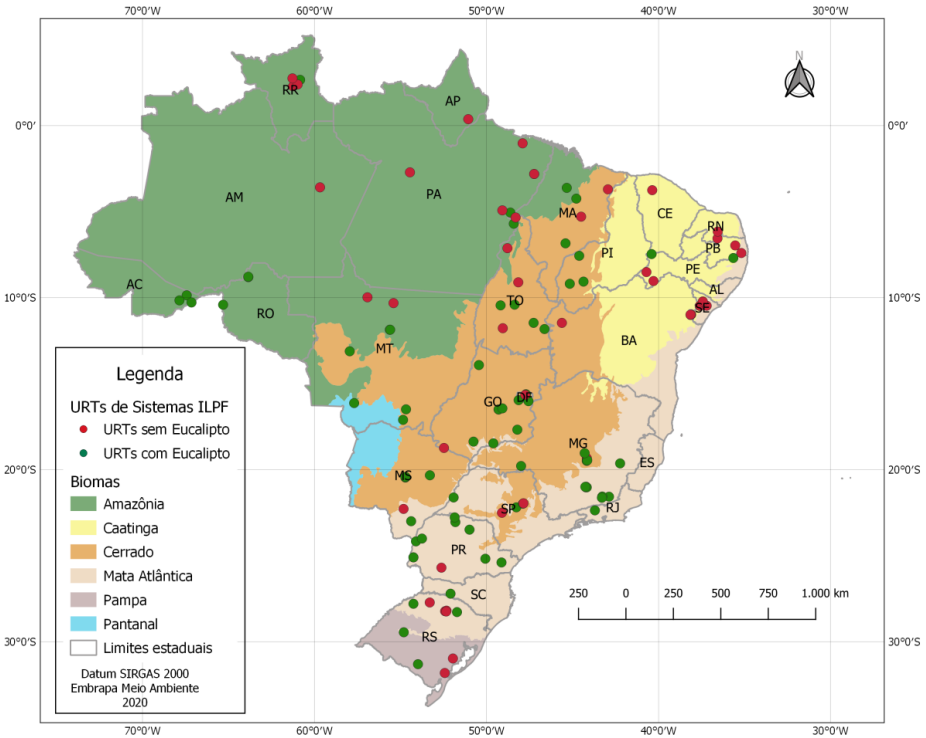


Figura 2. Distribuição das Unidades de Referência Tecnológica (URTs) de sistemas de ILPF nos biomas brasileiros, com e sem a presença de eucalipto.

condições edafoclimáticas; (vi) grande número de viveiros registrados e certificados que oferecem mudas de qualidade com preços acessíveis; (v) disponibilidade de clones, garantindo uniformidade da plantação, oferecendo maior previsibilidade da produtividade de biomassa ou de outro produto, ou da oferta de serviços ecossistêmicos ao longo do ciclo em sistemas de ILPF, como na estimativa da mitigação de carbono em processos de certificação; (vi) conhecimento acumulado quanto às vulnerabilidades a pragas e doenças; (vi) múltiplos usos da madeira.

Oportunidades e desafios para P,D&I no uso de eucalipto em sistemas de ILPF

Além das vantagens reconhecidas do eucalipto, em termos de produção de biomassa nos sistemas de ILPF para usos diversos, outros benefícios são atribuídos à sua utilização na oferta de serviços ecossistêmicos capazes de agregar valor aos

sistemas e se constituindo, portanto, em novas oportunidades. Uma das oportunidades nesse sentido tem sido o avanço no desenvolvimento e validação de protocolos dos conceitos produtivos "Carne Carbono Neutro" (Alves et al., 2015). A Carne Carbono Neutro é produzida em sistemas de IPF (silvipastoril) ou ILPF (agrossilvipastoril) que contemplam o componente florestal, o qual é um dos grandes responsáveis pelo sequestro de carbono, possibilitando a neutralização da emissão de metano entérico pelos animais em pastejo, além de proporcionar conforto térmico pelo sombreamento das pastagens. A certificação, referenciada por um selo, expressa que a produção de bovinos de corte ocorreu em sistemas de integração com a presença obrigatória do componente arbóreo. Nesse sentido, o conjunto de conhecimentos e tecnologias acumuladas nos últimos 40 anos sobre o monocultivo de eucalipto, e em particular no seu desempenho em sistemas de ILPF na última década, colocam suas espécies em vantagem frente a outras alternativas.

Atualmente no Brasil, os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares dos 7,83 milhões de hectares ocupados por florestas plantadas, e são responsáveis por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais, representando 6,2% do PIB Industrial do País (IBÁ, 2019). Esses dados são relevantes, uma vez que essa área representa menos de 1% do território nacional e está concentrada em apenas alguns polos de produção.

Mesmo considerando este predomínio, a inserção do eucalipto como componente florestal em sistemas de ILPF ainda apresenta alguns desafios a serem superados pelas ações de transferência de tecnologia, muitos deles referentes a questões culturais. Assim, de maneira geral, a agricultura e a pecuária são atividades que fazem parte da rotina do produtor rural e com as quais ele tem familiaridade. Por outro lado, a inserção de um componente florestal, como o eucalipto, integrado ao cultivo de grãos e pecuária é normalmente associado a um problema ou entrave, com dificuldades para adoção tecnológica, pois o plantio de florestas é uma atividade que não faz parte do dia a dia da maioria dos produtores. Também deve-se considerar que, ao longo dos séculos, a atividade agrícola esteve ligada à sistematização das áreas para o cultivo de grãos (eliminação de tocos e catação de raízes). Dessa forma, culturalmente, o produtor ainda tem certa dificuldade para aceitar que os tocos e raízes de eucalipto são diferentes daqueles de espécies seculares, ou seja, se degradam rapidamente e o custo de destoca, caso necessária, é bem menor.

Dessa forma, o investimento no plantio de eucalipto em sistemas de ILPF na propriedade rural se constitui em uma quebra de paradigma, requerendo um planejamento adequado de médio e longo prazos. Enquanto o agricultor tradicional faz o planejamento para uma safra agrícola, o pecuarista, para o ciclo de cria (6 a 7 meses), recria (doze meses), terminação (4 a 6 meses) ou ciclo completo (~ 24 meses), planejamento de um sistema de ILPF com eucalipto, deve abranger o cultivo e a colheita das culturas intercalares (grãos e ou forrageiras), o manejo dos animais e do componente

florestal propriamente dito (práticas silvicuturais), bem como a previsão das interações de todos os componentes envolvidos. Tudo isso, sem perder o foco nos produtos florestais almejados, os quais podem requerer de 5 a 7 anos quando for para biomassa, e cerca de 12 a 14 anos para madeira serrada no caso do eucalipto e dependendo da espécie e região de cultivo. Sistemas de produção em que os retornos econômicos esperados são obtidos no médio ao longo prazo, como tende a ser o caso desses sistemas, são vistos com receios por parte de muitos produtores, devido ao tempo deamandado para a obtenção dos resultados.

Do ponto de vista da transferência de tecnologia de sistemas de ILPF envolvendo o eucalipto, alguns desafios ainda têm merecido uma atenção especial quanto às recomendações de adoção. De um modo geral, esses têm procurado conciliar o interesse do produtor com relação às possíveis vantagens e à viabilidade econômica para a sua inserção no sistema; o arranjo espacial das árvores, levando em consideração aspectos operacionais, como a previsão de tráfego de máquinas e implementos para a condução de lavouras, bem como à busca pelo equilíbrio da produtividade das culturas anuais e forrageiras na presença do componente florestal.

A definição da destinação final da madeira é um fator decisivo para o planejamento e manejo do plantio, influenciando toda a estratégia operacional de campo, bem como para a previsão de um fluxo de caixa atrativo. O mercado consumidor e o preço da madeira interferem na ampliação do eucalipto em sistemas de ILPF, reflexo da concentração da produção em determinadas regiões com demandas específicas para biomassa, carvão, celulose ou madeira serrada. Assim, no planejamento do sistema, o principal balizador é a existência de mercado e o valor agregado ao produto, ou seja, se ele remunera os custos de produção e transporte.

As condições e restrições do mercado consumidor para os produtos a serem gerados devem ser consideradas na definição do arranjo de plantio do eucalipto em sistemas de ILPF. Além da existência de mercado para o eucalipto, a sua escolha deve ser pautada também no tipo de produto, volume demandado e, principalmente, na distância em que a propriedade está desse mercado (custos de transporte). Produtos de menor valor agregado como a biomassa (lenha ou cavacos) têm seu plantio restrito a um raio entre 100 km e 200 km. Já a exploração do eucalipto para a obtenção de madeira serrada permite que o mercado consumidor esteja situado a distâncias maiores, uma vez que ela agrega maior valor de mercado.

O volume de biomassa ou madeira serrada que o mercado pode absorver será o balizador para adotar o plantio do eucalipto em linhas simples ou em renques de linhas duplas, triplas ou múltiplas. Em uma propriedade distante de um polo consumidor de biomassa, certamente a opção por arranjo de linhas simples será a melhor escolha (~ 150 árvores ha^{-1}). Na configuração de linhas simples, otimiza-se os demais componentes do sistema (lavoura e pecuária), ou seja, nesse caso, o carro-chefe do sistema será a lavoura ou a pecuária; o eucalipto entraria como uma adição de renda para o

sistema, além da possibilidade de receber créditos em sistemas de certificação, tal como ocorre com a marca conceito Carne Carbono Neutro (CCN).

Já em uma região com demanda aquecida por biomassa (lenha, cavaco ou celulose), o produtor tem uma flexibilidade maior nas configurações que podem ser adotadas, podendo optar por uma exploração multiproduto, ou seja, produzir biomassa e manejar o sistema com desbastes e desramas para a obtenção de madeira serrada. Por outro lado, o sistema pode ser configurado para privilegiar a produção de biomassa com uma densidade bem maior de árvores. Nessas configurações o carro-chefe do sistema passa a ser o eucalipto e pode-se assumir que as perdas de produtividade nos componentes agrícola ou pecuário serão remuneradas pelas receitas geradas com as árvores, ou seja, há uma substituição de receitas.

Uma vez definido o número de linhas de eucalipto por faixa (renque) de árvores, com base no produto final, é preciso definir a distância entre as faixas/renques de árvores. Essa distância entre os renques de eucalipto deve ser definida pela atividade principal ou com maior rentabilidade econômica a ser executada entre os renques (Wruck et al., 2018). No caso da agricultura, a largura da plataforma da colhedora e a largura da barra de pulverização para a pecuária. Na prática, recomenda-se que a distância entre os renques não seja inferior a 20 m, para retardar o sombreamento crítico (excessivo), bem como a competição por água e nutrientes para a cultura intercalar (grãos e ou pastagem).

A disposição das faixas/renques ou linhas de plantio das árvores é outra questão que gera dúvidas na implantação do sistema. Ela deve ser em nível, como prática conservacionista eficiente para impedir a erosão do solo e a perda da água por escoamento superficial. No entanto, inúmeros projetos são implantados sem esse cuidado, nos quais unicamente o alinhamento leste-oeste define o sentido do alinhamento das árvores. Isso significa que todas as atividades (preparo do solo, plantio e tratos culturais) sejam realizadas no sentido do declive, ou seja, morro abaixo. Nessas condições são frequentes as evidências de erosão do solo, causando prejuízos ambientais, econômicos e à sustentabilidade do sistema.

A orientação leste-oeste no plantio das árvores visa propiciar menor sombreamento às culturas consorciadas, embora os tipos climáticos predominantes no País ofereçam bastante luminosidade durante todo o ano. Portanto, a preocupação com luz para o crescimento dos demais componentes da ILPF (lavoura e pastagem) deve ser menor do que aquela com a perda de água por escorrimento superficial, que pode causar erosão do solo. No caso de áreas com relevo em declive, a orientação é para que as fileiras/renques de árvores sigam paralelamente o nível do terreno (plantio em curvas de nível), para promover a conservação do solo; entretanto, nesses casos, há o inconveniente das curvas de nível que se aproximam ou se afastam demasiadamente, dependendo da declividade do terreno. Para evitar tal inconveniente que, além de afetar a mecanização da área, cria zonas mais sombreadas do que outras,

utiliza-se o conceito de "linha mestre" (Porfírio-da-Silva et al., 2009), como já utilizado em longa data nos outros cultivos como a fruticultura, que favorece o plantio em faixas paralelas, mantendo a mesma distância de uma linha/faixa de uma árvore para a outra.

A interação dos animais com as árvores é outro desafio a ser enfrentado. A predação das árvores de eucalipto pelos animais causa preocupação aos produtores e pode ser uma barreira na adoção de sistemas de ILPF. Um conjunto de fatores está associado às causas da predação das árvores pelos animais, incluindo fatores relativos às próprias árvores (características da casca, ambiente, práticas silviculturais e genética) e fatores associados aos animais (controle de parasitas, teor de proteínas e de fibras da forrageira e comportamento animal). O início da predação pode ser causado por qualquer um dos fatores isoladamente ou pela interação entre eles (Nicodemo; Porfírio-da-Silva, 2019). Nesse caso, faz-se necessário o acompanhamento técnico adequado do plantio no monitoramento das plantas, para as intervenções necessárias no momento certo, sem maiores danos para as árvores ou prejuízos ao sistema.

Outro desafio para as ações de transferência de tecnologia, também associado à questão cultural da sistematização das áreas para a agricultura, está relacionado ao manejo dos tocos que permanecem na área após o corte das árvores. Essa questão tem sido tratada de três maneiras. A primeira opção seria a condução da segunda rotação por meio da rebrota (talhadia) do eucalipto. Nesse sentido, as espécies *E. saligna*, *E. urophylla*, *C. citriodora* e seus híbridos apresentam boa rebrota. A principal vantagem da talhadia é a redução de custos (50%) em relação à reforma, sendo que, no primeiro ano de condução, o custo é 65% menor. A segunda opção prevê a permanência dos tocos na área, e o plantio de novas mudas na mesma faixa do plantio anterior. Assim, depois do corte das árvores, novas mudas são plantadas nos espaços entre os tocos deixados para decomposição no local, após aplicação, por exemplo, de Glifosato ou Imazapyr (Goulart et al., 2015) ou uréia no toco após o corte da árvore. Nessa abordagem, a permanência de tocos e raízes contribui para o incremento de matéria orgânica ao solo, sendo que parte importante do carbono fixado pelas árvores em sistemas de ILPF está justamente nas raízes que ficam no solo. A terceira opção seria a destruição ou destoca (retirada do toco) para sistematização da área para agricultura, caso não haja interesse na continuidade do sistema, ou quando a retirada dos tocos com raízes justifique economicamente o seu uso, por exemplo, para energia. Nesses casos, o uso de equipamentos de destruição mecânica desses tocos é necessário (fresadoras, trituradores-fresadores, brocas etc). A extração dos tocos em sistemas de ILPF ainda é pouco utilizada, mas pode ser realizada com escavadora sobre esteiras equipadas com ferramentas que removem e quebram os tocos (Forest Research, 2009). Após a extração e remoção dos tocos e raízes, os mesmos podem ser processados, resultando em biomassa para queima e geração de energia. A comercialização desta biomassa pode gerar receita para o custeio da operação de destoca.

Em síntese, o plantio de eucalipto em sistemas de ILPF apresenta suas particularidades, promovendo alterações profundas e de médio a longo prazos, que necessitam ser previstas no planejamento, implantação e acompanhamento dos sistemas. No entanto, atualmente, há uma carência de profissionais capacitados para a elaboração de projetos, contemplando um planejamento de médio e longo prazos. Esta falta de mão de obra especializada para atender os produtores rurais, em parte está associada à menor representatividade das florestas plantadas no território nacional. Enquanto que, para a agricultura e pecuária, existe um número expressivo de técnicos, agrônomos, zootecnistas e veterinários espalhados por todo o território nacional, para o setor de florestas plantadas os técnicos e engenheiros florestais estão restritos aos principais polos de produção florestal (Bahia, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo, principalmente). Portanto, há a necessidade do incremento de ações de transferência de tecnologia em processos de capacitação continuada, com o foco na formação de multiplicadores com domínio sobre o componente florestal.

Referências

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A. (ed.). **Carne carbono neutro**: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2015. 32 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203141/1/Carne-carbono-neutro-1.pdf.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. (ed.). **Marco referencial**: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BRASIL. Lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013. Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e altera a Lei n° 8.171 de 17 de janeiro de 1991. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, seção 1, 30 abr. 2013. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12805.htm. Acesso em: 19 julho 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 173 p.

CORDEIRO, L. A. M.; BALBINO, L. C.; GALERANI, P. R.; DOMIT, L. A.; SILVA, P. C.; KLUTHCOUSKI, J.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; SKORUPA, L. A.; WRUCK, F. J. Transferência de tecnologias para adoção da estratégia de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 377-393. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; ANTUNES, J. M.; SILVA, J. L. S.; VARELLA, A. C.;

POSSEBOM, T.; BUSATTA, B.P. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 8. p. 281-313.

FOREST RESEARCH. **Stump harvesting**: interim guidance on site selection and good practice. United Kingdom, Edimburgh: The Research Agency of the Forestry Commission, April, 2009. 18 p.

GOULART, I. C. G. dos R.; SANTAROSA, E.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Herbicidas registrados para a cultura do eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 352). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1023661.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2019 = Report 2019**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

ILPF em números. [Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2016]. 12 p. Folder. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/ bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf.

MARTINEZ, G. B.; BOTELHO, F. J. E.; BENDAHAN, A. B.; MORAES, J. G. de; SILVA, A. R.; GODINHO, V. P. C.; MEDEIROS, R. D. de; OLIVEIRA, T. K. de; FRANKE, I. L.; PERIN, R.; MARINHO, J. T. S.; SILVA, E. S. A.; PIMENTEL, G. M. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 2. p. 45-64.

NICODEMO, M. L. F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Bark stripping by cattle in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 1, p. 305–315, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-018-0185-y.

PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras**: implantação e manejo. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 48 p.

RANGEL, J. H. A.; MUNIZ, E. N.; SOUZA, S. F.; PIOVEZAN, U.; AMARAL, A. J.; SILVA NETO, L. F.; SANTOS, J. C. P.; MORAES, S. A.; SANTOS, R. D.; TONUCCI, R. G.; ZONTA, J. H.; DI STEFANO, J. G. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 5. p. 164-191.

REDE ILPF. Disponível em: https://www.redeilpf.org.br/. Acesso em: 3 maio 2020.

SANTANA, D. P.; NOCE, M. A.; BORGHI, E.; BORGHI, E. ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; MULLER, M. D.; MARTINS, C. E.; BERNARDO, W. F.; VIANA, M. C. M.; ÁVILA PIRES, J. A. A. de; CALSAVARA, L. H. F.; MELLO, B. L. B. de; COSTA, F. A. S.; OLIVEIRA, C. S. S. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Rio De Janeiro. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 6. p. 192-233.

SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. Avaliação da adoção de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) no Brasil. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de**

integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 10. p. 340-379.

TEIXEIRA NETO, M. L.; ARAÚJO NETO, R. B.; ALCÂNTARA, R. M. C. M.; SOUZA, H. A.; AZEVEDO, D. M. P.; CARVALHO, G. M. C. C.; FROTA, M. N. L.; VILELA, L.; COSTA, J. B.; FRAZÃO, J. M. F.; TOLEDO, M. M.; QUINZEIRO NETO, T.; BARBOSA, C. F.; BORTOLON, E. S. O.; BELCHIOR, E. B.; BORTOLON, L.; ALCÂNTARA, P. H. R.; ALMEIDA, R. E. M.; SANTOS, D. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Oeste da Bahia. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 4. p. 105-163.

VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; PULROLNIK, K.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. Sistemas de integração lavoura-pecuária: histórico e evolução no cerrado. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 10. p. 28-44.

WRUCK, F. J.; PEDREIRA, B. C.; BEHLING, M.; MOREIRA, L. O. M.; FERNANDES, P. C. C. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados de Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 3. p. 65-104.

WRUCK, F. J.; PEDREIRA, B. C. E.; MICHETTI, M.; SOUZA, E. D.; BEHLING, M. Implantação de sistemas integrados de produção agropecuária em grandes propriedades rurais. In: SOUZA, E. D.; DAMIAN DA SILVA, F.; ASSMANN, T. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. B. (org.). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018. v. 1. p. 229-238.

ZIMMER, A. H.; SALTON, J. C.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; SANTAROSA, E.; BERNARDI, A. C. C; GARCIA, A. R.; BUNGENSTAB, D. J.; OMOTE, H. S. G.; DEBIASI, H.; SOUZA FILHO, H. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; VINHOLIS, M. M. B.; CARRER, M. J.; GUERREIRO, M. F. G. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 7. p. 234-280.

Embrapa

Florestas

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

ISBN 978-658738004-9