

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



ARAUCÁRIA

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

Valderês Aparecida de Sousa

Elenice Fritzsons

José Elidney Pinto Júnior

Ananda Virgínia de Aguiar

Editores Técnicos

Embrapa

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

ARAUCÁRIA

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

*Valderês Aparecida de Sousa
Elenice Fritzsons
José Elidney Pinto Júnior
Ananda Virgínia de Aguiar*

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
Elenice Fritzsos
Krisle da Silva
Marcelo Francia Arco Verde
Marilice Cordeiro Garrastazu
Susete do Rocio Chiarello Penteado
Valderês Aparecida de Sousa

Supervisão editorial e revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Francisca Rasche

Projeto gráfico, editoração eletrônica, arte final e capa
Neide Makiko Furukawa

Fotos capa
José Elidney Pinto Júnior (araucária)
Zig Koch (pinhas e pinhões)

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

Araucária : pesquisa e desenvolvimento no Brasil / Valderês Aparecida
de Sousa ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2021.
PDF (360 p.) : il. color.

Modo de acesso: World Wide Web:
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/item/14>
ISBN 978-65-87380-59-9

1. *Araucaria angustifolia*. 2. Pesquisa florestal. 3. História. 4.
Embrapa Florestas. I. Sousa, Valderês Aparecida de. II. Fritzsos,
Elenice. III. Pinto Júnior, José Elidney. IV. Aguiar, Ananda Virgínia de.
V. Embrapa Florestas.

CDD (21. ed.) 634.9751

Autores

Afonso Figueiredo Filho

Engenheiro Florestal, doutor em Manejo Florestal, professor na Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR

Aline Canetti

Engenheira Florestal, doutora em Recursos Florestais, consultora autônoma, Curitiba, PR

Álvaro Figueredo dos Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador aposentado da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Amanda Aparecida Oliveira do Carmo

Bióloga, estudante de pós-graduação em Biologia Comparada, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR

Ana Claudia da Silveira

Farmacêutica, mestre em Ciências Farmacêuticas, aluna de pós-graduação da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Ana Paula Dalla Corte

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, professora na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Ananda Virgínia de Aguiar

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

André Eduardo Biscaia de Lacerda

Engenheiro Florestal, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Angela Gava Barreto

Engenheira de Alimentos, doutora em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, professora do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, RJ

Antônio Francisco Jurado Bellote

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador aposentado da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Aurélio Lourenço Rodrigues

Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, empregado da Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba, PR

Carlos Roberto Sanquetta

Engenheiro Florestal, doutor em Ecologia e Manejo Recursos Florestais, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências dos Alimentos, pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ

Cristiane Vieira Helm

Química, doutora em Ciência dos Alimentos, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Celso Garcia Auer

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

Denise Jeton Cardoso

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Dieter Liebsch

Biólogo, doutor em Engenharia Florestal, consultor ambiental na Arauka Ambiental, Curitiba, PR

Edilson Batista de Oliveira

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

Edson Alves de Lima

Licenciado em Ciências Agrícolas, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Elenice Fritzsos

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

Evaldo Muñoz Braz

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

Felix Emilio Prado Cornejo

Engenheiro Mecânico, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ

Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa

Engenheira de Alimentos e Engenheira Química, doutora em Engenharia de Alimentos, funcionária da Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba, PR

George Gardner Brown

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ecologia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Itamar Antonio Bognola

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

Jarbas Yukio Shimizu

Engenheiro Florestal, doutor em Genética Florestal, pesquisador autônomo, Curitiba, PR

João Bosco Vasconcellos Gomes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

José Elidney Pinto Júnior

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

Junior Ruiz Garcia

Economista, doutor em Desenvolvimento Econômico Espaço e Meio Ambiente, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Krisle da Silva

Engenheira-agrônoma, doutora em Microbiologia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Letícia Penno de Sousa

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Lucilia Maria Parron

Bióloga, doutora em Ecologia de Ecossistemas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Luiz Antonio de Souza

Biólogo, doutor em Botânica, professor da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR

Luiz Eduardo Mantovani

Geólogo, doutor em Geologia, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Manoela Estefânea Boff Zortéa Guidolin

Engenheira de Alimentos, doutora em Engenharia de Alimentos, funcionária da Global Ingredients Powder Beverages na Mondelez International, Curitiba, PR

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 Silveira Wrege

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

Maria Augusta Doetzer Rosot

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Maria Izabel Radomski (in memorian)

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, ex-pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marilice Cordeiro Garrastazú

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Mônika Ikeda

Engenheira de Alimentos, estudante de doutorado em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Neusa Steiner

Engenheira-agrônoma, doutora em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis, SC

Patrícia Pova de Mattos

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

Patrícia Raquel Silva Zanoni

Engenheira Química, doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Quentin Gabriac

Biólogo, mestre em Biodiversidade, Ecologia e Evolução, analista no Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad), Le Lamentin, Martinica

Rafaella de Angeli Curto

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, professora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Regina Isabel Nogueira

Engenheira de Alimentos, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ

Rossana Catie Bueno de Godoy

Engenheira-agrônoma, doutora em Tecnologia dos Alimentos, pesquisadora da Embrapa Florestas Colombo, PR

Rubens Onofre Nodari

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética, professor da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

Sandra Bos Mikich

Bióloga, doutora em Zoologia, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Sebastião do Amaral Machado

Engenheiro Florestal, doutor em Biometria e Manejo Florestal, professor da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Sylvio Pellico Netto

Engenheiro Florestal, doutor em Biometria e Inventário Florestal, professor na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

Thiago Floriani Stepka

Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor na Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC

Valderês Aparecida de Sousa

Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Valdir Marcos Stefenon

Biólogo, doutor em Ciências Florestais/Genética, professor na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

Washington Luiz Esteves Magalhães

Engenheiro Químico, doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Engenheira Florestal, doutora em Ciências Florestais, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Agradecimentos

A todos os autores que atenderam ao convite, se dedicaram à elaboração dos capítulos ilustrados e se submeteram aos vários processos que o preparo de um livro requer. Aos revisores que contribuíram para que os capítulos apresentassem uma melhor qualidade. Ao Comitê de Publicação da Embrapa Florestas, em especial à equipe de editoração e diagramação pelo grande esforço empregado na formatação deste livro. Aos pesquisadores pelo empenho nas pesquisas com a araucária, no passado e no presente, e que nos propiciaram os conhecimentos científicos para o presente e futuro. A Embrapa, em especial à Embrapa Florestas, pela oportunidade de publicar este livro contendo valiosos conhecimentos para a conservação e uso desta importante espécie para a nossa cultura, economia e manutenção da biodiversidade. Às empresas públicas e privadas, aos produtores e institutos de pesquisa, às universidades, ao pessoal de apoio aos trabalhos com araucária, sendo eles: técnicos, analistas, estagiários e bolsistas que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento de inúmeras atividades de pesquisa sobre a espécie araucária nas quatro últimas décadas, e cujos principais resultados são relatados no presente livro. Agradecemos ainda às agências de fomentos e fundos financiadores, além de universidades e órgãos internacionais, que ao longo do tempo deram suporte às pesquisas apresentados neste livro.

Os editores

Apresentação

A araucária ou pinheiro-brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze 1898, é uma árvore majestosa e marcante na paisagem, principalmente das regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde ocorre naturalmente. Antes da chegada dos imigrantes europeus, formações densas faziam parte da cobertura florestal no Planalto Sul, dando origem à denominação popular de “Mata Preta”, referindo-se aos maciços de araucária de copas escuras comuns na época.

Populações indígenas já faziam uso da araucária, mais precisamente da sua semente ou pinhão, como complemento alimentar na época da sua maturação. Percebe-se a importância que a araucária representou para os indígenas pelo legado nas denominações de locais como Curitiba, Curiúva e outros.

Por conta da densidade dos povoamentos originais, as formações de araucária representavam obstáculo para a expansão dos assentamentos. Muitas árvores tinham que ser removidas para dar espaço à agricultura e pastagem. Nesse processo, sua madeira era aproveitada na construção de casas, galpões, móveis e demais estruturas.

A madeira da araucária é de alta qualidade física e mecânica para uso em estruturas e tornou-se reconhecida em muitos países. A partir daí, florestas naturais de araucária passaram a ser derrubadas exclusivamente para a exploração da madeira. Com o propósito de explorar a madeira de araucária para exportação, uma grande empresa estrangeira chegou a se instalar na região Sul, propondo construir uma ferrovia e assegurando o privilégio de desmatar uma larga faixa em ambos os lados ao longo do traçado. Nesse processo, os agricultores e moradores que estavam estabelecidos na faixa de domínio concedido a essa empresa foram expulsos de suas propriedades. Isso desencadeou uma onda de descontentamento por toda a região, culminando com o sangrento conflito conhecido como a Guerra do Contestado entre os moradores revoltados contra as forças do governo que apoiavam as ações dessa empresa.

No início do século XX, a madeira da araucária chegou a ser o item de maior importância nas exportações brasileiras depois do café. Por todo o Planalto Sul do País instalaram-se inúmeras serrarias em volta das quais formaram-se vilas que, posteriormente, tornaram-se importantes núcleos urbanos e industriais. Porém, em função da intensa exploração, as reservas de araucária ficaram reduzidas e, com o passar dos anos, as distâncias dos remanescentes aumentaram rapidamente, tornando economicamente inviável a exploração da sua madeira.

Reconhecendo a importância da araucária para o desenvolvimento social e econômico do Sul do País e a situação crítica do esgotamento das reservas, o governo criou, em 1941, o Instituto Nacional do Pinho (INP) com o propósito de promover o desenvolvimento do seu reflorestamento, produção, industrialização e comércio, além de manter estatísticas e informações gerais, regulamentar a instalação de novas serrarias e fiscalizar as atividades no segmento. O INP atuou

até 1967, quando foi substituído pelo extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) (atual Ibama).

A araucária é considerada árvore de lento crescimento em comparação com espécies de *Pinus* e *Eucalyptus*, que são normalmente usadas nos reflorestamentos. Além disso, ela é altamente sensível à qualidade do sítio. Em alguns locais, podem ser conseguidos incrementos volumétricos comparáveis aos de algumas espécies de *Pinus*, mas somente em sítios com solos profundos, de excepcional fertilidade e em ambiente sem déficit hídrico. Isso significa que, na maioria dos casos, o seu ritmo de crescimento desencorajava qualquer iniciativa de reflorestar com essa espécie. Apesar disso, algumas empresas mantiveram a prática de plantar araucária, ainda que em escala restrita, com finalidades de conservação desse recurso florestal. No período entre 1966 e 1986, enquanto vigorou a lei de incentivos fiscais para reflorestamento, a araucária era a preferida na região Sul para atender o percentual mínimo de espécie nativa requerido por lei nos reflorestamentos incentivados.

Mesmo após a fase de intensa exploração madeireira da araucária, desmatamentos de remanescentes de suas formações prosseguiram, ainda que em menor escala, por toda a região de sua ocorrência. Prevalecendo essa prática, a espécie estaria fadada a desaparecer por completo de muitos locais e, com isso, estariam perdidas importantes variantes geográficas da espécie. Embora diferentes medidas poderiam ter sido tomadas para reverter essa tendência, o poder público optou por decretar como crime ambiental o corte da araucária visando à conservação dos remanescentes. Essa medida, no entanto, teve um efeito reverso, aumentando ainda mais o seu risco de extinção. A fiscalização do cumprimento dessa medida ficou a cargo de órgãos ambientais estaduais que faziam uso de imagens remotas para detectar mudanças indevidas na cobertura florestal. Sendo assim, para evitar penalidades por eventual crime ambiental relacionado ao corte de araucária, os proprietários rurais passaram a eliminar qualquer regeneração natural dessa espécie que surgisse, antes que crescesse e pudesse ser identificada nas imagens de satélite. Além disso, por falta de especificações no documento legal, nem os produtores que tinham plantado araucária para seu uso puderam colher a matéria-prima.

A conservação dos recursos genéticos da espécie e, preferivelmente, com aumento na sua variabilidade genética, seria a única forma de evitar a perda de populações locais e a extinção da araucária. Nesse esforço, a Embrapa Florestas vem participando ativamente desde os primórdios da sua atuação na pesquisa florestal, quando ainda era conhecida como Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul da Embrapa. O primeiro passo foi a criação e coordenação de um grupo de trabalho interinstitucional de pesquisadores em melhoramento genético florestal que se reunia, periodicamente, para discutir temas estratégicos de melhoramento e conservação de espécies florestais. No caso da araucária, o grupo chegou ao consenso sobre a necessidade de resgatar sementes de representantes de remanescentes em toda a área de ocorrência da espécie e plantar bancos de conservação no campo. Bancos dessa natureza foram estabelecidos em bases físicas da Embrapa e do Instituto Florestal de São Paulo, uma das instituições que atuaram em parceria nessa tarefa. Trabalhos adicionais nessa linha foram realizados visando ao resgate de populações de áreas marginais de ocorrência natural como Barbacena e Camanducaia, no sul de Minas Gerais. Esses representantes foram estabelecidos em bancos de conservação no campo, em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), o Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) e uma empresa florestal de Santa Catarina. Ações dessa natureza podem facilitar o acesso a materiais genéticos das populações amostradas, mas não asseguram a conservação desse material, visto que são medidas pontuais no tempo e no espaço. Tais medidas, por estarem sujeitas a mudanças na gestão das áreas em que os bancos foram estabelecidos,

bem como ao avanço na idade e mortalidade das árvores e à falha no padrão fenológico entre as árvores dos bancos, podem frustrar a expectativa de intensa recombinação entre elas. A forma mais efetiva de conservar um recurso genético tão importante quanto a araucária, talvez, seria mediante implantação e uso de povoamentos com alta variabilidade genética. Isso requer a participação ativa de muitos componentes da sociedade, principalmente os produtores rurais. Ciente disso, a Embrapa Florestas, em parceria com instituições de pesquisa congêneres, universidades, empresas, entidades de classe e produtores rurais, vem implementando ações visando à aquisição de conhecimentos e ao envolvimento de todos os agentes no processo. Além disso, a espécie que sempre foi valorizada como fonte de madeira, vem adquirindo uma nova dimensão de valor para o produtor rural. A madeira é colhida uma vez após 20 anos ou mais, dependendo da dimensão de tora desejada. No entanto, uma vez atingida a maturidade reprodutiva, que ocorre normalmente entre 10 a 15 anos, as árvores produtoras de pinha geram, anualmente, uma safra de pinhão que vem ganhando espaço no mercado de produtos florestais não madeireiros. Assim, o somatório das produções anuais de pinhão ao longo dos anos pode superar o valor da madeira, mantendo, ainda, a madeira de dimensão cada vez maior e de maior valor para o corte final. É sob essa ótica que se pretende estimular iniciativas para aumentar a cobertura florestal com araucária, com a participação de toda a sociedade.

No intuito de entender melhor a natureza da espécie, pesquisadores têm investigado até dados arqueológicos para desvendar aspectos da sua evolução ao longo do tempo, como subsídio às medidas de sua conservação para o futuro. Também de grande relevância para eventuais ações de conservação e uso, foram identificadas as condições ecológicas mais favoráveis ao estabelecimento de povoamentos produtivos de araucária no Brasil, inclusive com detalhes sobre as características de solo e clima.

Considerando a importância do envolvimento de produtores rurais que vejam a araucária como um item adicional na produção em suas propriedades, pesquisas têm sido dedicadas à elucidação da interação entre o desenvolvimento desta espécie e a presença de outras no ecossistema. Esse aporte técnico lhes possibilitaria adotar diferentes formas de manejo da araucária e das espécies associadas visando otimizar a renda da sua propriedade. Nesse esforço, incluem-se protocolos para implantação e associação com outras culturas agrícolas e florestais, estudos genéticos da sua variabilidade associada à distribuição geográfica e individuais. Um sistema de gerenciamento, análise econômica e planejamento de plantações desta espécie também foi desenvolvido. Com isso, os produtores rurais poderão planejar suas atividades de manejo da araucária, para que sejam mais rentáveis ao longo da rotação.

Uma estratégia de conservação da araucária, das mais efetivas que a Embrapa vem liderando, envolve a sensibilização de produtores rurais para plantio ao longo de estradas rurais nas suas propriedades. Pelo engajamento nesse programa, eles recebem uma remuneração ao longo dos anos, com recursos aportados por empresas que buscam compensação pela emissão de gases de efeito estufa em suas atividades. Assim, as ações desse programa denominado "Estradas com Araucária" trazem uma grande contribuição em forma de serviços ecossistêmicos e agregação de valor à propriedade. A produção de pinhão é um grande atrativo para a adesão a esse programa, ainda mais com as recentes técnicas desenvolvidas para abreviar o tempo entre o plantio e o início da sua produção. Além disso, a Embrapa vem desenvolvendo estudos nutricionais do pinhão e das formas de seu uso na culinária.

As múltiplas frentes de pesquisas básicas e aplicadas sobre a araucária, descritas neste livro, trazem informações técnicas valiosas sobre a espécie quanto às características genéticas, ecológicas,

anatômicas, fisiológicas e em vários outros aspectos. Esse cabedal de conhecimentos conquistado ao longo dos anos representa um instrumental valioso no esforço para reverter o seu status de espécie ameaçada de extinção e recolocá-la na lista de produtos de destaque na economia florestal e no desenvolvimento socioeconômico rural.

A redução da cobertura florestal provoca risco de perda de biodiversidade em todos os ecossistemas e contribui, ainda, para as mudanças do clima que se encontram em curso, de modo a ameaçar a sobrevivência das espécies e populações. À medida que os impactos ambientais, causados por mudanças do clima, se tornam mais evidentes, acentua-se a necessidade de aperfeiçoamento nos estudos e nas análises de cenários climáticos, em busca de respostas sobre a forma de atuação dessas mudanças sobre os ecossistemas e de medidas para reduzir os riscos e impactos relacionados. A busca de soluções para a redução das incertezas na elaboração de cenários futuros é essencial para garantir a sustentabilidade das florestas. Este livro é composto por 17 capítulos de relevância técnica que dão subsídios aos elaboradores de políticas públicas visando à conservação dos ecossistemas e à garantia da proteção e a conservação da araucária, bem como de suas populações em maior risco de extinção. Complementarmente, ressalta-se que a manutenção da cobertura florestal é essencial para a melhoria da qualidade do clima do planeta e garante a segurança hídrica, energética e alimentar.

Nesse contexto, são abordados, neste livro, diversos tópicos importantes sobre a araucária, tais como a descrição da espécie e os aspectos evolutivos, bem como ecologia, manejo, silvicultura, genética, clima, solos, fauna edáfica e epiedáfica, doenças, melhoramento genético, conservação de germoplasma, uso de coprodutos da espécie, serviços ecossistêmicos em florestas, dentre outros. Este livro apresenta aderência a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo os de maior representatividade o ODS 15 (Vida terrestre), ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) e ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima). Esta obra contribui, também, com outros objetivos igualmente importantes, tais como ODS 1 (Erradicação da pobreza), ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável), ODS 6 (Água limpa e saneamento), ODS 8 (Trabalho decente e crescimento econômico), ODS 9 (Inovação e infraestrutura), ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) e ODS 17 (Parcerias e meios de implementação).

Jarbas Yukio Shimizu

Ex-Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento e pesquisador aposentado da Embrapa Florestas

Prefácio

Araucaria angustifolia, vulgarmente conhecida como pinheiro-do-paraná, ou simplesmente pinheiro, é a única espécie conífera nativa importante do Brasil, tanto sobre o aspecto ecológico como econômico. *Podocarpus lambertii* é outra conífera, também nativa do Brasil, porém não tem muita importância.

O pinheiro-do-paraná tem sua distribuição natural principalmente nos estados sulinos do Brasil, quais sejam Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, cobrindo originalmente uma extensão de aproximadamente 153.000 km², onde formava extensos maciços florestais e dominando o estrato superior. Encontrava-se também, de forma esparsa e em pequenos capões, nas regiões altas dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Trata-se da espécie mais importante e mais bela do Brasil.

A qualidade de sua madeira e disponibilidade de grande quantidade trouxeram a cobiça da indústria madeireira, tanto nacional como internacional. Centenas de serrarias e laminadoras foram implantadas em sua área de ocorrência. Embora essas indústrias tenham trazido desenvolvimento e exploração desordenada, trouxeram ainda o exaurimento dos extensos maciços florestais. A madeira serrada do pinheiro-do-paraná era a preferida pela construção civil e também para a exportação. Muitas cidades da região Sul surgiram em torno de serrarias e laminadoras e, mais tarde, em torno de indústrias de polpa celulósica e papel. Hoje restam menos de 1% da área original dessa espécie.

Os maciços florestais de araucária tendem a desaparecer, mesmo que não haja mais exploração, embora esta minha opinião seja contestada. Verifica-se a inexistência de regeneração no sub-bosque e, se houver, as mudas não vingam, tendo em vista que a espécie é heliófita, isto é, precisa de sol para sobreviver. A própria legislação proíbe o corte do pinheiro-do-paraná, mesmo que tenha sido plantado. Quem planta quer colher e, como não se pode colher, o agricultor, em geral, além de não plantar, elimina mudas novas que nascem, por acaso, em sua propriedade.

Embora o pinheiro-do-paraná venha sendo usado há séculos, ainda não se sabe tudo sobre os hábitos silviculturais dessa espécie. Este livro oferece conhecimentos sobre diversos aspectos dessa espécie, resultantes do empenho da Embrapa e de diversas instituições brasileiras públicas e privadas que, ao meu ver, é a espécie mais bonita, mais importante e que forma maciços de uma beleza ímpar.

Sebastião do Amaral Machado
Professor da Universidade do Paraná

Sumário

Capítulo 1

História evolutiva de <i>Araucaria angustifolia</i> : dos fósseis às sequências de DNA Valdir Marcos Stefenon e Rubens Onofre Nodari	21
---	----

Capítulo 2

Morfologia dos órgãos vegetativos e reprodutivos de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) O. Ktze (Araucariaceae) Amanda Aparecida Oliveira do Carmo, Rossana Catie Bueno de Godoy e Luiz Antonio de Souza	35
---	----

Capítulo 3

A araucária e suas especificidades Ananda Virgínia de Aguiar, Valderês Aparecida de Sousa, José Elidney Pinto Júnior, Sandra Bos Mikich e Dieter Liebsch.....	47
---	----

Capítulo 4

A distribuição natural das Florestas com Araucária nos estados do Sul e São Paulo: localização, clima e relevo Elenice Fritzsons, Luiz Eduardo Mantovani e Marcos Silveira Wrege	69
--	----

Capítulo 5

Uso de modelos de nicho para a predição de ocorrência de espécies florestais Marcos Silveira Wrege, Valderês Aparecida de Sousa, Márcia Toffani Simão Soares, Itamar Antônio Bognola, Elenice Fritzsons, Ananda Virgínia de Aguiar e Letícia Penno de Sousa.....	85
---	----

Capítulo 6

Atributos dos solos em Florestas com Araucária

Márcia Toffani Simão Soares, Itamar Antônio Bognola, Krisle da Silva, George Gardner Brown, Antônio Francisco Jurado Bellote, Celso Garcia Auer, Ananda Virgínia de Aguiar e João Bosco Vasconcellos Gomes..... 103

Capítulo 7

Fauna edáfica e epiedáfica em Florestas com Araucária

George Gardner Brown e Quentin Gabriac..... 121

Capítulo 8

Doenças em araucárias

Celso Garcia Auer e Álvaro Figueredo dos Santos..... 149

Capítulo 9

Melhoramento e conservação genética de *Araucaria angustifolia*

Valderês Aparecida de Sousa, Ananda Virgínia de Aguiar, José Elidney Pinto Júnior, Jarbas Yukio Shimizu e Neusa Steiner 161

Capítulo 10

Práticas de manejo e a regeneração natural de araucária

André Eduardo Biscaia de Lacerda, Denise Jeton Cardoso, Maria Augusta Doetzer Rosot, Marilice Cordeiro Garrastazú, Maria Izabel Radomski (in memorian) e Yeda Maria Malheiros de Oliveira..... 213

Capítulo 11

Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* em florestas naturais e em plantios estabelecidos na região Sul do Brasil

Patrícia Pova de Mattos, Evaldo Muñoz Braz, Aline Canetti, Aurélio Lourenço Rodrigues, Rafaella de Angeli Curto, Thiago Floriani Stepka, Afonso Figueiredo Filho, Ana Paula Dalla Corte, Carlos Roberto Sanquetta, Sebastião do Amaral Machado e Sylvio Pellico Netto 229

Capítulo 12

Sistemas de produção com araucária

Maria Izabel Radomski (in memorian), Denise Jeton Cardoso, Maria Augusta Doetzer Rosot,
André Eduardo Biscaia de Lacerda e Marilice Cordeiro Garrastazú 249

Capítulo 13

SisAraucaria®: software para o manejo de plantações de *Araucaria angustifolia*

Edilson Batista de Oliveira 279

Capítulo 14

Avaliação de serviços ecossistêmicos em Florestas com Araucária

Junior Ruiz Garcia e Lucilia Maria Parron 289

Capítulo 15

Estradas com Araucárias: o projeto na ótica dos Objetivos de Desenvolvimento
Sustentável (ODS)

Edilson Batista de Oliveira 307

Capítulo 16

Valor nutricional e processamento do pinhão

Rossana Catie Bueno de Godoy, Carlos Wanderlei Piler de Carvalho,
Manoela Estefânea Boff Zortéa Guidolin, Mônica Ikeda, Regina Isabel Nogueira,
Cristiane Vieira Helm, Felix Emilio Prado Cornejo, Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa,
Angela Gava Barreto..... 321

Capítulo 17

Uso dos produtos da araucária: madeira e coprodutos

Patrícia Raquel Silva Zanoni, Ana Cláudia da Silveira, Edson Alves de Lima,
Patrícia Póvoa de Mattos, Rafaella de Angeli Curto, Washington Luiz Esteves Magalhães e
Marcelo Lazzarotto 337



1

**História evolutiva
de *Araucaria
angustifolia*:
dos fósseis
às sequências
de DNA**

Valdir Marcos Stefenon
Rubens Onofre Nodari



Introdução

A Floresta com Araucária, também conhecida como Floresta Ombrófila Mista, é um ecossistema particular nos planaltos do sul do Brasil, caracterizada pela mistura de duas vegetações distintas: a afro-brasileira tropical e a flora austro-brasileira de clima temperado (Guerra et al., 2002). Durante pelo menos 1.000 anos, após as mudanças climáticas pós-glaciares do Quaternário (Behling, 2002), esse ecossistema dominou a paisagem de cerca de 200.000 km² desses planaltos. No entanto, o processo de exploração intensiva, ocorrido principalmente entre os anos de 1940 e 1970, reduziu a Floresta com Araucária brasileira para cerca de 3% de sua área original.

A valorização econômica da Floresta com Araucária, por meio de seu manejo sustentável, bem como o estabelecimento de reservas naturais e sistemas agroflorestais são estratégias que podem promover a conservação dos remanescentes florestais, a proteção dos animais silvestres e a regeneração natural de muitas espécies de plantas associadas. No entanto, um manejo sustentável dos remanescentes florestais implica na compreensão sobre a distribuição da diversidade genética das espécies-chave, permitindo tomar decisões que minimizam a redução da adaptabilidade da floresta a variações ambientais, como as mudanças climáticas.

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze (araucária) é uma importante espécie-chave nas Florestas com Araucária e tem recebido especial atenção da comunidade científica nas últimas décadas, visando conhecer o seu atual contexto ecológico, demográfico e genético. Contudo, a compreensão desses fatores demanda conhecer a história dessa espécie, escrita por meio de diferentes ferramentas, que vão desde os marteletes dos paleontólogos até os sequenciadores de DNA dos geneticistas. Neste texto, sumarizar-se-á a história evolutiva da araucária tendo por base estudos paleontológicos, palinológicos, ecológicos, genéticos e de ecologia molecular.

A história evolutiva contada pelos fósseis

Registros fósseis relacionados à família Araucariaceae são encontrados tanto no Hemisfério Sul quanto no Hemisfério Norte e traçam uma história iniciada no Triássico Superior, passando pelo Jurássico e Cretáceo Inferior (Dutra; Stranz, 2009). Esses registros são representados, principalmente, por lenho fossilizado e grãos de pólen, mas também por cones e sementes petrificados e impressões de folhas.

Apesar de serem algumas vezes incompletos e inconclusivos, os registros fósseis são essenciais para entender as origens mais remotas das atuais formações florestais onde se encontra a araucária. Mas, mesmo com as limitações inerentes, os fósseis permitem datar e localizar os ancestrais da espécie, bem como descrever o ambiente em que esses ancestrais viveram, por quais dificuldades passaram e quais fenômenos possibilitaram a sua expansão.

Lenho fossilizado

De acordo com os registros paleontológicos, espécies similares a *Araucaria angustifolia* já eram encontradas em áreas de clima quente e seco, que formavam a Gondwana e a Laurasia durante o Triássico Superior. Essas primeiras espécies de coníferas de grande porte, ancestrais da araucária, surgiram em regiões de clima subtropical e temperado quente do Período Triássico e da Era Mesozóica (Dutra; Stranz, 2009), quando os supercontinentes Laurásia e Gondwana dominavam o planeta, conectando os atuais hemisférios Norte e Sul. Florestas petrificadas desse período são



encontradas tanto no Hemisfério Norte como no Hemisfério Sul do planeta. Na região central do estado do Rio Grande do Sul, numerosos fósseis de lenho com características da família Araucariaceae são encontrados (Figura 1). Esses fósseis, conhecidos como *Araucarioxylon* – para uma discussão sobre a pertinência dessa nomenclatura e sua transferência para *Agathoxylon*, veja Rößler et al., 2014 – apresentam como principal característica estrutural em seu xilema secundário, a presença de traqueídeos análogos aos de araucária e são considerados ascendentes diretos das araucárias atuais. Esse registro permite deduzir que ancestrais da araucária eram encontrados no sul da América do Sul há 200 milhões de anos.

Fotos: Valdir Marcos Stefenon



Figura 1. Fragmentos de lenho fossilizado de *Araucarioxylon* provenientes da região central do Rio Grande do Sul, Brasil fotografados no Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Pampa, São Gabriel, RS, Brasil.

As florestas petrificadas, examinadas em diferentes sítios paleontológicos da porção central do Rio Grande do Sul, formadas por caules silicificados de grande porte, são representantes de uma densa floresta primitiva, formada primariamente por coníferas. Esse registro fóssil sugere que durante a passagem do Meso para o Neotriássico houve um progressivo desenvolvimento da flora de coníferas na Bacia do Paraná causado por mudanças climáticas (Sommer; Scherer, 2002), pois os anéis de crescimento presentes nesses caules fossilizados indicam que o fator limitante do crescimento das árvores foi a umidade e reflete o efeito do clima quente, com alternância de períodos úmidos e secos.

Pólen fossilizado

Registros da história evolutiva mais recente e mais específica de *Araucaria angustifolia* no Brasil podem ser descritos por meio da avaliação de pólen fóssil. Devido à dependência de relativamente altos níveis de pluviosidade para o desenvolvimento da espécie e ao tamanho e facilidade de identificação dos seus grãos de pólen, esses têm sido utilizados como indicadores de climas mais quentes e úmidos, em estudos da dinâmica vegetacional temporal. Assim, análises palinológicas realizadas no Sul e Sudeste do País têm registrado a ocorrência e abundância relativa da araucária em uma escala temporal, que remonta há 40.000 anos até o presente.



Atualmente, essa espécie tem a sua distribuição natural ocorrendo em áreas altas desde o Rio Grande do Sul (acima de 400 m de altitude) até Minas Gerais (acima de 1.400 m de altitude). O registro de pólen fóssil demonstra que a expansão pós-glacial da araucária, dentro desta ampla área de ocorrência, aconteceu de maneira diferenciada quando se considera um gradiente norte-sul. Enquanto a expansão mais ao norte (Itapeva, SP) iniciou-se mais cedo, há aproximadamente 3.000 anos (Behling, 2002), a expansão mais ao sul (Caçapava do Sul, RS) ocorreu há menos de 1.000 anos (Behling et al., 2006).

As frentes frias, que promoveram o clima frio e seco no sul do Brasil durante o último período glacial máximo, eram provenientes do continente Antártico. A retração dessas frentes frias, ao final deste período tornou o ambiente mais quente e úmido, inicialmente mais ao norte, subsequentemente ocorrendo de maneira progressiva em direção ao sul. Dessa forma, o clima tornou-se propício para a expansão demográfica das populações da araucária, inicialmente no limite norte de sua expansão, seguindo em direção ao sul (Stefenon et al., 2008a, 2019). Aproximadamente 1.500 a 2.000 anos após a principal expansão ocorrida no limite norte, as populações experimentaram uma significativa expansão em seu limite sul. Essa expansão foi mais significativa nas regiões dos estados do Paraná e Santa Catarina, provavelmente devido às condições edafoclimáticas (tipo de solo, clima, disponibilidade de água etc.) mais favoráveis nessa região, onde hoje são encontradas as maiores formações naturais de araucária.

A história evolutiva contada pelo DNA

Quase toda a história evolutiva de uma espécie fica registrada em seu DNA, uma vez que esta molécula é responsável pela propagação das informações genéticas às gerações seguintes, de forma hereditária. Assim, a correlação genética relacionada com ancestrais comuns pode ser observada em espécies atuais e assinaturas de eventos históricos ocorridos no passado recente podem ser observadas nas populações presentes, ambos por intermédio da análise de sequências de DNA.

A análise dessas assinaturas deixadas no DNA pelas forças evolutivas e eventos ambientais pode ser feita avaliando-se a expressão das informações genéticas por meio da eletroforese de isoenzimas, ou estudando a molécula de DNA diretamente, com o emprego de diferentes marcadores moleculares. O box apresenta um resumo das características dos principais marcadores genéticos utilizados em análises de filogenia, filogeografia e diversidade genética populacional.



Ferramentas da ecologia molecular

A Ecologia Molecular é a ciência que envolve o uso de ferramentas da Biologia Molecular e da Estatística para responder perguntas a respeito de relações ecológicas, fluxo gênico, relações filogenéticas, história demográfica populacional e padrões de distribuição da diversidade genética, entre outras.

As ferramentas da biologia molecular utilizadas são os chamados marcadores bioquímicos e moleculares. Marcadores bioquímicos são moléculas protéicas que apresentam a mesma função, mas formas moleculares diferentes, enquanto marcadores moleculares dizem respeito a diferenças avaliadas direta ou indiretamente na sequência do DNA.

Marcadores isoenzimáticos possuem diferença em sua mobilidade eletroforética, embora exibam a mesma função, quando possuem estruturas tridimensionais distintas devido a diferenças tanto na carga elétrica quanto no peso molecular codificadas na sequência de DNA que lhes dá origem. Assim, diversos locos isoenzimáticos são analisados na busca de diferentes alelos.

Marcadores moleculares podem tanto corresponder à avaliação direta da sequência do DNA, buscando por mutações pontuais (SNPs, do inglês *Single Nucleotide Polymorphism*) e inserções/deleções (indels), ou à avaliação indireta, por meio da análise do comprimento de regiões do DNA estudado. Dentre os diferentes marcadores moleculares que avaliam o comprimento de regiões amplificadas via reação em cadeia da polimerase (PCR, do inglês *Polymerase Chain Reaction*), os mais utilizados são os microssatélites (SSRs), RAPDs e AFLPs. Enquanto microssatélites possibilitam a observação de diferentes alelos para cada loco avaliado, marcadores RAPD e AFLP são multilocos e partem da avaliação da presença ou ausência de amplificação de fragmentos de mesmo tamanho entre indivíduos, populações ou espécies.

Uma revisão mais detalhada da base genética, análise e aplicações de marcadores bioquímicos e moleculares pode ser encontrada em livros dedicados ao tema como *Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética* (Ferreira; Grattapaglia, 1998), *Marcadores genético-moleculares aplicados a programas de conservação e uso de recursos genéticos* (Faleiro, 2007) e *Marcadores moleculares na era genômica: metodologias e aplicações* (Turchetto-Zolet et al., 2017).

No que diz respeito às ferramentas estatísticas, a Ecologia Molecular utiliza amplamente a teoria da coalescência, das cadeias de Markov Monte Carlo (MCMC) e da estatística Bayesiana. O uso dessas ferramentas possibilita o desenvolvimento de simulações de eventos genéticos a partir de grandes quantidades de dados genéticos e com um amplo número de repetições, além de permitir a introdução de dados ambientais e morfológicos nas análises. Atualmente, diversos softwares utilizam essas ferramentas permitindo uma confiável estimativa de estrutura genética (Structure, MrBayes), gargalos genéticos (Bottleneck), fluxo gênico (Migrate-n), filogenia (MrBayes). Compilações de softwares para essas e diversas outras aplicações da Ecologia Molecular podem ser encontrados na internet com links para download. O BioLinux 8 (<http://environmentalomics.org/bio-linux/>) é uma compilação completa de bioinformática composta por mais de 250 programas de análise genética, desenvolvida para ser instalada tanto como plataforma principal Linux® quanto para trabalhar em paralelo ao sistema Windows® por meio de *dualboot*.



Relações filogenéticas de *Araucaria angustifolia*

Tendo se originado no Triássico, com expansão e diversificação em ambos os hemisférios do globo, durante o Jurássico e o Cretáceo, a família Araucariaceae é composta pelos gêneros *Araucaria*, *Agathis* e *Wollemia*. De acordo com análise combinada de sequências de oito genes (dois nucleares e seis plastidiais) e com calibração baseada em fósseis de representantes de duas tribos do gênero *Araucaria* (tribo *Araucaria* e tribo *Eutacta*), a origem desse gênero ocorreu há 246 ± 47 milhões de anos (Liu et al., 2009).

O gênero *Araucaria* é composto por 19 espécies com distribuição atual restrita ao Hemisfério Sul e apresenta suas relações filogenéticas relativamente bem resolvidas, apesar de pequenas inconsistências com relação ao registro fóssil que coloca a tribo Bunya como a mais basal, diferentemente dos dados genéticos (Setoguchi et al., 1998; Stefenon et al., 2006).

A relação filogenética entre espécies do gênero *Araucaria* foi estudada com a utilização de sequências do gene plastidial *rbcL* (Setoguchi et al., 1998) e em mais de 700 *loci* de marcadores AFLP (Stefenon et al., 2006). Nativa da Austrália, *Araucaria bidwillii* (única espécie viva da tribo *Bunya*) revela-se em ambos estudos filogenéticos como irmã do clado composto pelas espécies sul-americanas *Araucaria angustifolia* e *Araucaria araucana*. Apesar desta relação diferir do sugerido pelos registros fósseis que consideram *Bunya* como grupo mais basal (Stockey; Taylor, 1978), essas espécies compartilham características morfológicas relacionadas à distribuição e orientações dos estômatos (Setoguchi et al., 1998), disposição e forma das folhas e dos cones, evidenciando essa proximidade.

Essa estrutura filogenética (Figura 2), confirmada pelos estudos de Setoguchi et al. (1998) e Stefenon et al. (2006), evidencia também a clara diferenciação das duas espécies sul-americanas de *Araucaria* com relação às espécies atualmente ocorrendo na Australásia (Austrália, Nova Caledônia, Ilha Norfolk e Nova Guiné). Assim, aliadas às características morfológicas, as informações genéticas legitimam a origem comum das duas espécies sul-americanas de *Araucaria* a partir de um ancestral comum que existiu nessa região entre 98,9 e 142 milhões de anos atrás (Liu et al., 2009), enquanto as demais espécies possuem origem de ancestrais da região da Australásia.

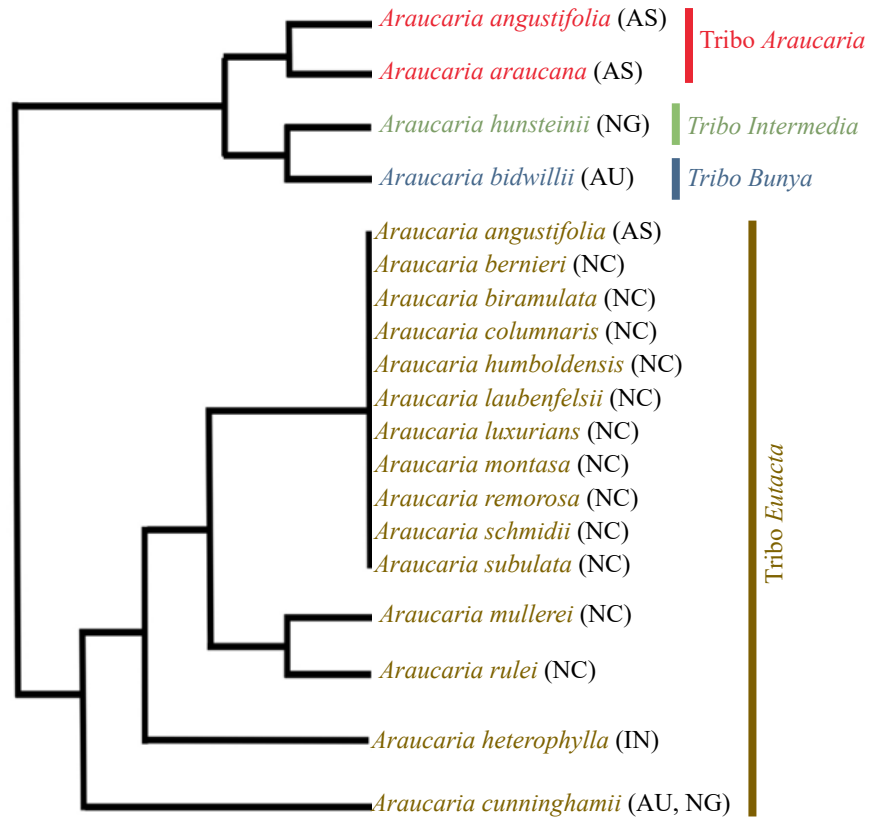


Figura 2. Relações filogenéticas entre espécies do gênero *Araucaria* de Jussieu.

Após cada espécie, sua região geográfica de ocorrência é dada: AS = América do Sul; NG = Nova Guiné; AU = Austrália; NC = Nova Caledônia; IN = Ilha Norfolk.

Fonte: Adaptado de Setoguchi et al. (1998) e Stefenon et al. (2006).

História demográfica e estrutura genética da *A. angustifolia*

A análise de marcadores genéticos em populações de *Araucaria angustifolia* permite a compreensão de sua história evolutiva. Em linhas gerais, a estruturação genética das populações de *Araucaria angustifolia* reflete a sua distribuição geográfica. Estudos baseados tanto em isoenzimas, que são produtos da expressão gênica (Auler et al., 2002; Sousa et al., 2004), como em análises diretas do DNA (Hampp et al., 2000; Stefenon et al., 2007, 2019) demonstraram uma clara estruturação genética relacionada com a localização geográfica das populações avaliadas.

Uma clara distinção de base genética é inicialmente observada ao comparar populações do estado de São Paulo com populações do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Aplicando-se estimadores de diferenciação baseado em dados genético-moleculares (análise de variância molecular, AMOVA), a diferença entre essas populações varia de 11,33% (entre São Paulo e Paraná) a 21,97% (entre o grupo de São Paulo e o grupo de Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Comparativamente, a diferença entre as populações do Paraná e de Santa Catarina é de somente 4,94% (Stefenon et al., 2007).

Esse padrão de diferenciação com marcante estruturação filogeográfica se repete ao se avaliar marcadores plastidiais. Existem três distintas linhagens genéticas que caracterizam as populações de *Araucaria angustifolia* atuais: uma linhagem compondo populações da região norte de



ocorrência (São Paulo e Minas Gerais), uma linhagem correspondente às populações mais centrais (Paraná) e uma terceira linhagem que compõe as populações nativas de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Argentina, delimitando o limite sul de ocorrência da espécie. Existe ainda certo grau de compartilhamento de haplótipos (sequências específicas de DNA plastidial) entre populações centrais e do sul (Stefenon et al., 2019).

Esse padrão de características genéticas vinculadas à distribuição geográfica se repete ao comparar populações plantadas com fins comerciais. Durante o seu desenvolvimento, essas populações passam por um processo de seleção que mantém somente os indivíduos com características de interesse. Mesmo quando cultivadas em diferentes regiões e selecionadas seguindo os mesmos padrões e para as mesmas características de crescimento, a informação genética das plantações permanece mais similar a populações nativas da região de onde foram coletadas as sementes, do que a de populações plantadas na mesma região e igualmente selecionadas (Stefenon et al., 2008b).

A diversidade genética interpopulacional

A diversidade genética interpopulacional representa primariamente a diferenciação entre populações distintas e refletem o nível de fluxo gênico ocorrendo entre elas. Os fatores determinantes da diversidade interpopulacional em plantas dizem respeito à capacidade de pólen e sementes se movimentarem entre populações e de perpetuarem-se no ambiente. Os processos que causam o isolamento de populações naturais podem ser classificados em três categorias principais: o isolamento por distância, o isolamento por adaptação e o isolamento por colonização (Nagel et al., 2015).

O isolamento por distância refere-se à limitação de movimentação de pólen e sementes devido à distância entre as populações. A forma de dispersão do pólen e das sementes (pelo vento, pela água, por animais terrestres, por animais voadores etc.) e suas características morfológicas (tamanho, peso, formato, presença de estruturas dispersoras etc.) são fatores cruciais no isolamento por distância. Neste processo, fundamentado no modelo de ilhas de Wright (Wright, 1950), o fluxo gênico e a deriva genética (perda de alelos ao acaso) são as principais forças determinando a diversidade interpopulacional.

O processo no qual o fluxo gênico efetivo é reduzido entre ambientes que apresentam características ecológicas diferentes é conhecido como isolamento por adaptação. Neste caso, a movimentação de pólen e sementes pode ocorrer, porém não ocorre a perpetuação destes no novo ambiente, por não estarem adaptados a ele.

A terceira categoria corresponde ao isolamento por colonização, que é determinado pela adaptação genética local dos genótipos colonizadores iniciais de uma população, resultando em persistência do efeito fundador devido ao reduzido fluxo gênico.

A ocorrência de um ou outro desses processos de isolamento depende da espécie e do ambiente em questão. Além disso, fatores isolados ou combinados podem determinar a ocorrência e intensidade do fluxo gênico entre populações. Quanto maior a intensidade de fluxo gênico, menor a diferença entre populações, ou seja, menor a diversidade interpopulacional.

A diversidade genética interpopulacional da araucária demonstra uma marcada diferenciação entre populações seguindo primariamente um padrão de isolamento por distância. Esse padrão se deve em parte ao grande porte tanto do pólen (disperso pelo vento), quanto das sementes (dispersas pela gravidade, por aves e por roedores). Os grãos de pólen são grandes, em comparação aos de outras



espécies com dispersão pelo vento e desprovidos de estruturas que auxiliem o voo, apresentando uma baixa taxa de flutuação (Sousa et al., 2003). Além disso, a Floresta com Araucária é densa, gerando barreiras físicas para o transporte do pólen. Behling e Negrelle (2006) estimaram a chuva de pólen de araucária em uma população do estado de Santa Catarina e obtiveram um valor médio de 32 cm²/ano. Contudo, o registro de polinização de uma árvore isolada sugere uma disseminação de pólen superior a 25 km, demonstrando a possibilidade de dispersão a longas distâncias em condições ambientais favoráveis (Behling; Negrelle, 2006).

As sementes, por sua vez, são dispersas a curta distância, pela gravidade, devido à massa de aproximadamente 6,5 g a 7,0 g (Mantovani et al., 2004) e geralmente danificadas pelos animais capazes de promover a dispersão a longas distâncias, impedindo a germinação (Stefenon et al., 2007). Uma estimativa da taxa de migração de pólen-sementes realizada por Stefenon et al. (2009) utilizando dados genéticos dos genomas nuclear (herança biparental) e plastidial (herança paterna) demonstrou a prevalência de dispersão de pólen sobre a dispersão de sementes.

Além do isolamento por distância, o isolamento por adaptação e o isolamento por colonização provavelmente apresentam também um efeito considerável na diferenciação entre populações em relação à distância geográfica. Populações crescendo atualmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais apresentam uma grande diferenciação genética em relação às populações do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Como discutido anteriormente, as populações mais ao norte da área de dispersão da araucária foram colonizadas entre 1.500 e 2.000 anos antes das populações mais ao sul. Acredita-se que as áreas ao norte foram colonizadas a partir de refúgios glaciais na região costeira do Sudeste do Brasil e na Serra da Mantiqueira.

Stefenon et al. (2019) apontam a existência de duas hipóteses para a colonização do Sul do Brasil pela araucária. Uma hipótese é a de haver ocorrido expansão da espécie em direção ao sul, a partir das populações estabelecidas em São Paulo, por intermédio de um corredor existente no passado. Essa hipótese se fundamenta na relação filogeográfica entre os haplótipos encontrados nas populações do sul que, provavelmente, originaram-se de um haplótipo comum no norte e pelo resultado de simulações de nicho ecológico para determinar a paleodistribuição da araucária no Brasil há 20.000 anos. A segunda hipótese diz respeito à possibilidade de existência de refúgios glaciais, não identificados no Sul do Brasil. Essa hipótese fundamenta-se na grande riqueza de haplótipos observada nas populações dos estados do Sul e no curto espaço de tempo entre a colonização e a formação desse grande número de novos haplótipos.

Para ambas as hipóteses sobre a origem das populações de araucária da região Sul, os processos de isolamento por adaptação e o isolamento por colonização sustentam-se. Existe uma considerável diferença nos regimes de chuva, evapotranspiração e ocorrência de geadas entre as regiões Sudeste e Sul do Brasil (Behling, 1997; Hampp et al., 2000), que sustenta o isolamento por adaptação. Por outro lado, a colonização originada a partir de poucos indivíduos decorrente de um gargalo genético oriundo da expansão norte-sul ou de refúgios glaciais na região Sul sustentam o isolamento por colonização. A ocorrência de um gargalo genético recente foi demonstrada por Stefenon et al. (2008a), a partir de dados de análises genéticas realizadas em populações do Sudeste e do Sul, sustentando o efeito do isolamento por colonização.

Dessa forma, a marcante diferenciação existente entre populações de araucária explica-se pela ocorrência de isolamento por distância (devido à dificuldade de dispersão do pólen e das sementes), isolamento por adaptação (devido principalmente às diferenças nos regimes de pluviosidade e temperaturas mínimas) e isolamento por colonização (devido ao gargalo genético ocorrido durante a expansão pós-glacial da espécie).



A diversidade genética intrapopulacional

A diversidade genética intrapopulacional se refere aos diferentes alelos existentes em uma população e de como estes alelos se combinam formando os genótipos, sendo crucial para garantir a sobrevivência de espécies perenes perante as constantes alterações de fatores bióticos e abióticos. A diversidade genética observada dentro de cada população por meio da análise de marcadores baseados na análise direta do DNA (tais como microssatélites (SSRs), AFLPs e RAPDs) é geralmente avaliada pelos índices de diversidade genética. Mais especificamente, quando os marcadores utilizados são codominantes (SSRs) é possível obter a estimativa da riqueza alélica e da heterozigiosidade, bem como pela distribuição geográfica dos genótipos ou estrutura genética espacial intrapopulacional. Para marcadores isoenzimáticos, que geralmente apresentam baixa riqueza alélica, a proporção de locos polimórficos é uma estimativa amplamente utilizada para determinar a diversidade genética.

A heterozigiosidade ($H = 1 - \sum p_i^2$, onde p_i é a frequência do alelo i na população) é o índice utilizado para determinar como ocorre a combinação dos alelos. Dados compilados por Stefenon et al. (2009) revelam uma heterozigiosidade média = 0,13 ($\pm 0,08$) para marcadores isoenzimáticos, = 0,29 ($\pm 0,05$) para marcadores RAPD = 0,24 ($\pm 0,06$) para marcadores AFLP e = 0,65 ($\pm 0,06$) para marcadores microssatélites. Em comparação com valores médios compilados na literatura, tendo por base características ecológicas de espécies vegetais (Tabela 1), a heterozigiosidade média estimada para a araucária apresenta valores próximos ou superiores para os marcadores baseados na análise direta do DNA (microssatélite, AFLP, RAPD), mas inferior para marcadores isoenzimáticos.

Tabela 1. Heterozigiosidade média (\bar{H}) compilada para espécies de plantas de acordo com suas características ecológicas. Para isoenzimas e microssatélites, as estimativas de H variam de 0,0 a 1,0. Para AFLP e RAPD, essas estimativas variam de 0,0 a 0,5.

	Marcador			
	Isoenzima ⁽¹⁾	Microssatélite ⁽²⁾	AFLP ⁽³⁾	RAPD ⁽⁴⁾
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,13	0,65	0,24	0,29
Espécie perene	0,18	0,68	0,25	0,24
Distribuição regional	0,15	0,65	0,21	0,22
Autofecundação	0,16	0,65	0,27	0,26
Barocoria ⁽⁴⁾	0,14	0,47	0,19	0,21
Estágio intermediário ⁽⁵⁾	0,14	0,63	0,21	0,19

Fonte: ⁽¹⁾Hamrick e Godt (1989); ⁽²⁾Nybom (2004); ⁽³⁾Nybom e Bartish (2000); ⁽⁴⁾Dispersão de sementes por gravidade; ⁽⁵⁾sucessão ecológica.

Da mesma forma que determinam a diferenciação interpopulacional, as limitações relativas à dispersão do pólen e das sementes direcionam a estrutura genética espacial intrapopulacional em araucária. A distância limitada de disseminação das sementes e pólen faz com que se forme a chamada estrutura de família, na qual indivíduos geograficamente próximos são geneticamente mais semelhantes do que esperado para cruzamentos ao acaso.

Diferentes estudos demonstraram que a estrutura genética espacial em *Araucaria angustifolia* ocorre até aproximadamente 70 m de distância entre as plantas (Mantovani et al., 2006; Bittencourt; Sebbenn, 2008; Stefenon et al., 2008b). Isso significa que existe maior incidência de polinização entre indivíduos próximos até 70 m um do outro e que esses indivíduos geralmente são



geneticamente próximos (filhos da mesma mãe, por exemplo) devido à curta distância de dispersão das sementes.

O futuro dessa história

A história evolutiva de *Araucaria angustifolia*, escrita nos fósseis e no DNA, revela uma espécie que há milhares de anos batalha para sobreviver em um mundo sob constantes mudanças. Dessa forma, tudo indica que ela permanecerá lutando para que essa história evolutiva seja escrita ainda por muitos séculos. Contudo, a intervenção humana no ambiente está prestes a “passar a borracha” nesta história.

Apesar da relativamente alta diversidade genética relatada em diversos estudos e do histórico de superação após períodos glaciais e gargalos genéticos, a exploração desenfreada dessa nobre espécie causou-lhe sérios danos. Além da redução de sua área de distribuição, em aproximadamente 97% da área original de ocorrência, os remanescentes de Floresta com Araucária sentem o impacto da exploração em sua bagagem genética.

Auler et al. (2002) demonstraram significativa perda de diversidade genética (proporção de locos polimórficos e heterozigidade em marcadores isoenzimáticos) em populações exploradas no estado de Santa Catarina, em comparação com populações não degradadas da mesma região. Da mesma forma, diversos estudos relatam um alto índice de endogamia em populações naturais de *Araucaria angustifolia*, fenômeno este que leva à fragilidade da espécie devido à maior probabilidade de manifestação de alelos deletérios e à redução da capacidade adaptativa (*fitness*). A correlação negativa entre endogamia e *fitness* populacional, por sua vez, é ainda mais provável em fragmentos florestais isolados (Stefenon et al., 2016), um artefato recorrente devido ao avanço das fronteiras agrícolas e urbanas.

O futuro dessa história depende de ações conjuntas envolvendo diferentes agentes e áreas do conhecimento (Stefenon et al., 2009), reconhecimento do papel ecológico, econômico e cultural dessa espécie. Resta-nos escolher entre permitir a continuidade dessa história ou meramente conhecer o passado sem pensar no futuro.

Referências

AULER, N. M. F.; REIS, M. S.; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. The genetics and conservation of *Araucaria angustifolia*: I. Genetic structure and diversity of natural populations by means of non-adaptive variation in the state of Santa Catarina, Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, p. 329-338, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-47572002000300014>.

BEHLING, H. Late quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 129, p. 407-422, 1997.

BEHLING, H.; NEGRELLE, R. R. B. Vegetation and pollen rain relationship from the Tropical Atlantic Rain forest in southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, p. 631-642, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132006000500013>.

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, p. 19-27, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00349-2](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00349-2).



- BEHLING, H.; VERISSIMO, N.; BAUERMANN, S.; BORDIGNON, S.; EVALDT, A. Late Holocene vegetation history and early evidence of *Araucaria angustifolia* in Caçapava do Sul in the lowland region of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 59, e16150264, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2016150264>.
- BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Pollen movement within a continuous forest of wind-pollinated *Araucaria angustifolia*, inferred from paternity and TwoGener analysis. **Conservation Genetics**, v. 9, p. 855-868, 2008.
- DUTRA, T. L.; STRANZ, A. Biogeografia, evolução e ecologia da família Araucariaceae: o que mostra a Paleontologia. In: FONSECA, C. R.; SOUZA, A. F. de; LEAL-ZANCHET, A. M.; DUTRA, T. L.; BACKES, A.; GANADE, G. (ed.). **Floresta com araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 15-34.
- FALEIRO, F. G. **Marcadores genético-moleculares aplicados a programas de conservação e uso de recursos genéticos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007.
- FERREIRA, M. E.; GRATAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-CENARGEN, 1998.
- GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (ed.). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002.
- HAMPP, R.; MERTZ, A.; SCHAIBLE, R.; SCHWAIGERE, M.; NEHLS, U. Distinction of *Araucaria angustifolia* seeds from different locations in Brazil by a specific DNA sequence. **Trees**, v. 14, p. 429-434, 2000.
- HAMRICK, J. L.; GODT, M. J. W. Allozyme diversity in plant species. In: BROWN, A. H. D.; CLEGG, M. T.; KAHLER, A. L.; WEIR, B. S. (ed.). **Plant population genetics, breeding and genetic resources**. Sunderland: Sinauer, 1989.
- LIU, N.; ZHU, Y.; WEI, Z. X.; CHEN, J.; WANG, Q.-B.; JIAN, S.-G.; ZHOU, D.-W.; SHI, J.; YANG, Y.; ZHONG, Y. Phylogenetic relationships and divergence times of the family Araucariaceae based on the DNA sequences of eight genes. **Chinese Science Bulletin**, v. 54, p. 2648-2655, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0373-2>.
- MANTOVANI, A.; MORELLATO, A. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 787-796, 2004.
- MANTOVANI, A.; MORELLATO, A. P. C.; REIS, M. S. Internal genetic structure and outcrossing rate in a natural population of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **The Journal of Heredity**, v. 97, p. 466-472, 2006.
- NAGEL, J. C.; CECONI, D. E.; POLETTO, I.; STEFENON, V. M. Historical gene flow within and among populations of *Luehea divaricata* in the Brazilian Pampa. **Genetica**, v. 143, p. 317-329, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10709-015-9830-9>.
- NYBOM, H.; BARTISH, I. V. Effects of life traits and sampling strategies on genetic diversity estimates obtained with RAPD markers in plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 3, p. 93-114, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00006>.
- NYBOM, H. Comparison of different nuclear DNA markers for estimating intraspecific genetic diversity in plants. **Molecular Ecology**, v. 13, p. 1143-1155, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02141.x>.
- RÖBLER, R.; PHILIPPE, M.; van KONIJNENBURG-VAN CITTERT, J. H. A.; MCLOUGHLIN, S.; SAKALA, J.; ZIJLSTRA, G. Which name(s) should be used for Araucaria-like fossil wood? Results of a poll. **Taxon**, v. 63, n. 1, p. 177-184, 2014.
- SETOGUCHI, H.; OSAWA, T. A.; PINTAUD, J.-C.; JAFFRÉ, T.; VEILLON, J.-M. Phylogenetic relationships within Araucariaceae based on rbcL gene sequences. **American Journal of Botany**, v. 85, p. 1507-1516, 1998.
- SOMMER, M.; SCHERER, C. M. S. Sítios Paleobotânicos do Arenito Mata (Mata e São Pedro do Sul), RS: uma das mais importantes "florestas petrificadas" do planeta. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (ed.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília, DF: CPRM, 2009.
- SOUSA, V. A.; ROBINSON, I. P.; HATTEMER, H. H. Pollen dispersal and gene flow by pollen in *Araucaria angustifolia*. **Australian Journal of Botany**, v. 51, n. 3, p. 309-317, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT02037>.



SOUSA, V. A.; ROBINSON, I. P.; HATTEMER, H. H. Variation and population structure at enzyme gene loci in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Silvae Genetica**, 53, p. 12-19, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1515/sg-2004-0003>.

STEFENON, V. M.; BEHLING, H.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Evidences of delayed size recovery in *Araucaria angustifolia* populations after post-glacial colonization of highlands in Southeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, p. 433-443, 2008a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652008000300005>.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Genetic structure of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) in Brazil: implications for the *in situ* conservation of genetic resources. **Plant Biology**, v. 9, p. 516-525, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-964974>.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Phylogenetic relationship within *Genus Araucaria* (Araucariaceae) assessed by means of AFLP Fingerprints. **Silvae Genetica**, v. 55, p. 45-52, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1515/sg-2006-0007>.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. The role of gene flow in shaping genetic structures of the subtropical conifer species *Araucaria angustifolia*. **Plant Biology**, v. 10, p. 356-364, 2008b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00048.x>.

STEFENON, V. M.; KLABUNDE, G.; LEMOS, R. P. M.; ROGALSKI, M.; NODARI, R. O. Phylogeography of plastid DNA sequences reveals post-glacial demographic expansion of *Araucaria angustifolia* towards the South. **Scientific Reports**, v. 9, p. 2752, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39308-w>.

STEFENON, V. M.; NAGEL, J.; POLETTO, I. Evidences of genetic bottleneck and fitness decline in *Luehea divaricata* populations from Southern Brazil. **Silva Fennica**, v. 50, id 1566, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1566>.

STEFENON, V. M.; STEINER, N.; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. Integrating approaches towards the conservation of forest genetic resources: a case study of *Araucaria angustifolia*. **Biodiversity and Conservation**, v. 18, p. 2433-2448, 2009.

STOCKEY, R. A.; TAYLOR, T. N. On the structure and evolutionary relationships of the Cerro Quadrado fossil conifer seedlings. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 76, p. 161-176, 1978.

TURCHETTO-ZOLET, A. C.; TURCHETTO, C.; ZANELLA, C. M.; PASSAIA, G. **Marcadores moleculares na era genômica: metodologias e aplicações**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2017.

WRIGHT, S. The genetical structure of populations. **Annals of Eugenics**, v. 15, p. 323-354, 1950.



2



**Morfologia
dos órgãos
vegetativos e
reprodutivos
de *Araucaria
angustifolia*
(Bert.) O. Ktze
(Araucariaceae)**

Amanda Aparecida Oliveira do Carmo
Rossana Catie Bueno de Godoy
Luiz Antonio de Souza

Introdução

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze., conhecida como pinheiro-do-paraná ou pinheiro-brasileiro, pertence ao grupo das Gimnospermas e está inserida na família Araucariaceae Henkel & W. Hochst. A espécie, típica das formações de Floresta Ombrófila Mista ou “Mata de Araucária”, é encontrada no Brasil desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul (Garcia, 2002), e é considerada árvore símbolo do Paraná, sendo facilmente reconhecida por seu formato de copa peculiar e por seu pinhão.

Essa espécie apresenta vasto histórico de exploração, desde a extração de madeira à obtenção das sementes comestíveis. Devido à exploração e à expansão da agricultura, a área de ocorrência natural dessa espécie foi reduzida drasticamente nos últimos 100 anos. O pinhão, é importante fonte de renda e motivo de preservação de fragmentos florestais naturais.

Este capítulo apresenta uma revisão da morfologia e um estudo das estruturas vegetativas e reprodutivas baseados, especialmente, em Hertel (1980). Este autor considera o pinhão como “fruto”, contrariando a literatura sobre morfologia reprodutiva da família Araucariaceae¹.

Morfologia dos órgãos vegetativos

Caule e madeira

A superfície do caule de *A. angustifolia* apresenta casca resinosa, prateada e grossa (Figura 1A), de cerca de 15 cm de espessura, com formação de ritidoma (Figura 1B), o qual pouco se desprende. É comum a observação de epifitismo ou instalação de ninhos de insetos na superfície do tronco (Figura 1C e 1D).

O caule dessa espécie é composto de um eixo principal, com crescimento monopodial e ramos laterais dispostos de forma verticilada a subverticilada (Figura 2). O número de ramos ou galhos por verticilo aumenta com a idade da planta, chegando até o máximo de nove na idade adulta. De acordo com o sistema de arquitetura de árvores apresentado por Hallé et al. (1978), *A. angustifolia* apresenta modelo arquitetônico “Rauh”, que se caracteriza como tronco ortotrópico de crescimento indeterminado e com ramos laterais verticilados e plagiotrópicos. Hertel (1980), por outro lado, considera que os ramos laterais no pinheiro-do-paraná, apesar de aparentarem ser verticilados, se dispõem numa espiral ascendente. A planta jovem apresenta copa com formato de cone, enquanto na fase adulta, com a perda dos ramos dos verticilos mais próximos à base, a copa assume formato de candelabro ou taça, com ramos curvados para cima.

O pinheiro-do-paraná foi amplamente explorado para fins madeiráveis. Sua madeira é leve e macia, com densidade básica 0,55 g/cm³ e coeficiente de retratibilidade médio 0,52% (Mainieri; Chimelo, 1989). Os anéis de crescimento são evidentes e a madeira, bem como a casca e nós, são altamente inflamáveis devido à presença de resinas, o que a torna um ótimo combustível. A madeira é utilizada para carpintaria, marcenaria, fabricação de instrumentos musicais (Mainieri; Chimelo, 1989) e produção de papel.

¹ Nota dos editores: Pelo fato da maior parte da literatura científica mundial considerar o pinhão como semente, uma vez que pertence ao grupo das gimnospermas, as palavras fruto, frutículo e frutéolo, quando relacionadas ao pinhão da araucária, serão colocadas entre aspas ao longo de todo este capítulo.

Fotos: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo

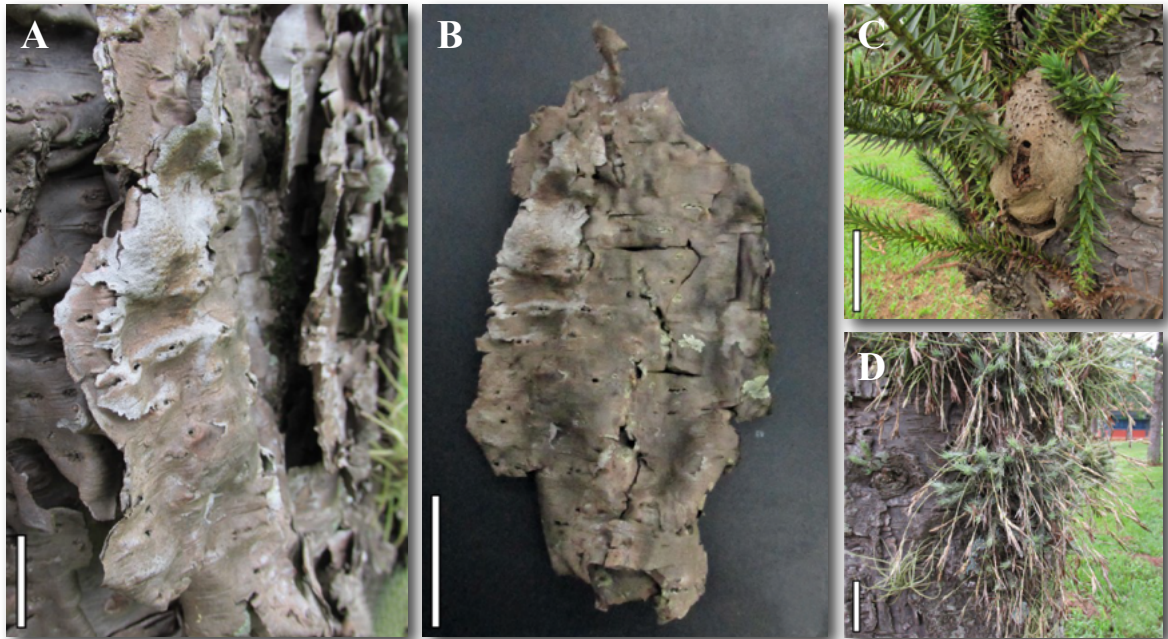


Figura 1. Superfície do caule de *Araucaria angustifolia*. Superfície do caule, mostrando a casca com coloração prateada (A); porção de ritidoma (B); presença de epífitas e ninho de insetos (C e D). Barras: 2 cm (A), 4 cm (B e C), 5 cm (D).

Foto: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo



Figura 2. Exemplos de *Araucaria angustifolia*, em fases diferentes de desenvolvimento, evidenciando o caule e suas ramificações.

Mattos et al. (2006) caracterizaram a estrutura e a natureza físico-química da madeira de um exemplar de *A. angustifolia* com 38 anos de idade. De acordo com os autores, a densidade básica da casca foi $0,395 \text{ g/cm}^3$ e os teores de extrativos totais, lignina e holocelulose foram 3,8%, 27,8% e 68,4%, respectivamente, sendo que o poder calorífico foi 4.670 cal/g . Na análise estrutural da madeira, esses autores constataram que ela consiste de traqueídeos longos, com dimensões médias de $5,84 \text{ mm}$ de comprimento, $54,95 \text{ }\mu\text{m}$ de largura e paredes celulares espessas de $7,30 \text{ }\mu\text{m}$.

Investigação sobre a madeira de *A. angustifolia* também foi feita por Rosa et al. (2013), que determinaram suas propriedades físicas em função da largura dos anéis de crescimento e do sexo. Os autores concluíram que a massa específica básica não mostra diferença entre os espécimes masculinos e femininos. Quanto aos valores médios de contração volumétrica, os autores constataram diferenças entre os sexos e as madeiras com anéis de larguras diferentes.

Folhas

Apesar de descritas na literatura como aciculares, as folhas do pinheiro-do-paraná são, de acordo com Hertel (1980), laminares, com base larga e ápice agudo pungente (Figura 3A e 3B). As folhas são sésseis, lanceoladas, numerosas e se inserem próximas umas às outras no ramo, com filotaxia alterna helicoidal (Figura 3A e 3C).

Fotos: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo

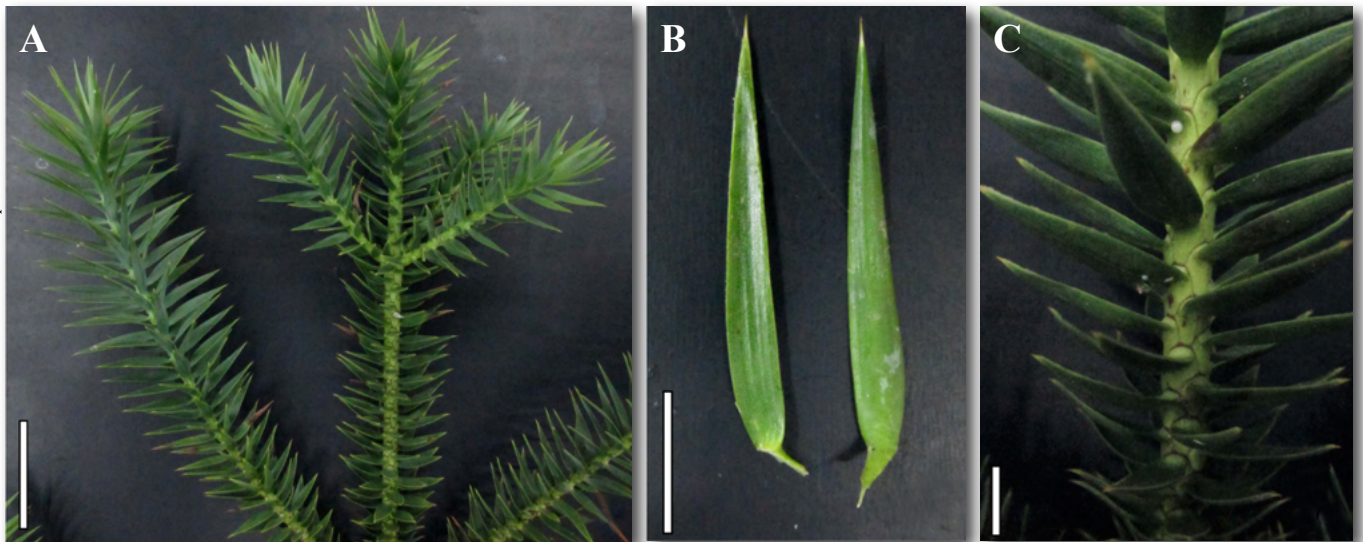


Figura 3. Morfologia do ramo e folha de *Araucaria angustifolia*. Ramos com filotaxia alterna helicoidal (A); folhas lanceoladas, em vista dorsal e ventral (B); detalhe do ramo mostrando as folhas sésseis dispostas helicoidalmente (C). Barras: 6 cm (A), 1 cm (B e C).

De acordo com Silveira (2009) as folhas de *A. angustifolia* são relativamente espessas, com textura coriácea e anfiestomáticas (com estômatos em ambas as faces da folha), o que, provavelmente, ocorre devido à sua prevalência no dossel superior da floresta, onde há maior exposição à luz solar.

Raiz

Nos estágios iniciais do desenvolvimento, a planta desenvolve raiz axial pivotante, com raiz primária de crescimento rápido. No indivíduo adulto, as raízes apresentam arquitetura semelhante àquela da copa, indicando redução da dominância da raiz primária, em favor das raízes secundárias.

A colonização por fungos micorrízicos é conhecida na família, especialmente por fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Breuninger et al. (2000) descreveram 13 espécies de FMA associados às raízes mais finas de indivíduos de *A. angustifolia* de formações florestais e campestres, enquanto

Moreira-Souza et al. (2003) encontraram 24 táxons de fungos colonizadores, com biodiversidade maior em plantas de áreas de vegetação natural, se comparada àquelas de plantações.

Morfologia dos órgãos reprodutivos

Araucaria angustifolia é espécie reconhecidamente dioica, com microstróbilos e megatróbilos encontrados, respectivamente, nos indivíduos masculinos e femininos. Esses estróbilos ou cones são considerados como ramos reprodutivos com folhas modificadas de diferentes tipos, que estão ligadas a um eixo curto e espesso, de natureza caulinar (Figura 4).



Figura 4. Estróbilos feminino e masculino de *Araucaria angustifolia*. Barra: 2 cm.

Microstróbilo

O microstróbilo ou androstróbilo (Figura 5A) é composto por um eixo central chamado de caule antomático e de esporangióforos, nos quais são encontrados os esporângios, produtores de esporos (Figura 5B e C). O esporangióforo é composto de uma porção peltada, voltada para a superfície do microstróbilo e dos microsporângios ou androsporângios (Figura 5B e C). Diferente do estróbilo feminino, nos microstróbilos do pinheiro-do-paraná não são observados elementos estéreis.

A estrutura do microstróbilos, de acordo com Hertel (1976), se assemelha ao órgão reprodutivo masculino de *Equisetum*, pois seus esporangióforos não apresentam porção laminar, como nos microsporófilos dos cones masculinos de *Pinus*. Os esporangióforos apresentam uma vascularização direta e constituem basicamente uma projeção na superfície do antoma. Podem ser encontrados até 1.300 esporangióforos em um microstróbilo.

Quando os esporos estão maduros, ocorre o afastamento dos esporangióforos (Figura 5D), permitindo o transporte do pólen pelo vento, polinização conhecida como anemofilia.

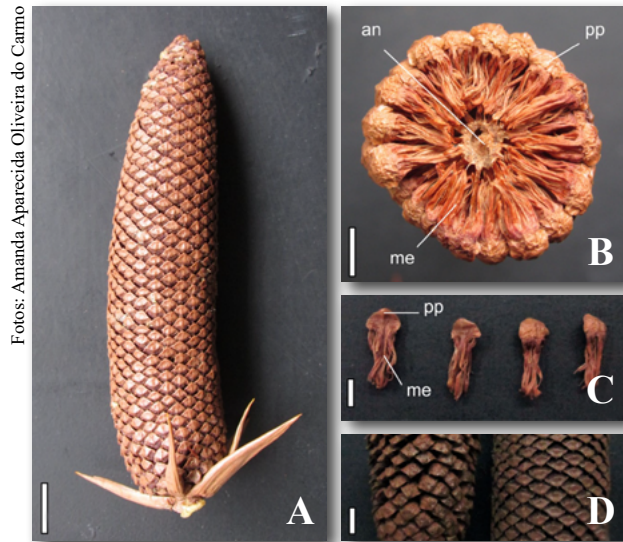


Figura 5. Morfologia do microestróbilo de *Araucaria angustifolia*. Aspecto geral do microestróbilo (A); seção transversal do microestróbilo, mostrando o eixo central (antoma) e a disposição dos microesporangióforos (B); detalhe dos esporangióforos (C); estróbilos masculinos após e antes do afastamento dos esporangióforos para a liberação dos esporos (D). (an = caule automático; me = resquílios do microesporângio; pp = porção peltada do esporangióforo). Barras: 1 cm (A), 5 mm (B e D), 3 mm (C).

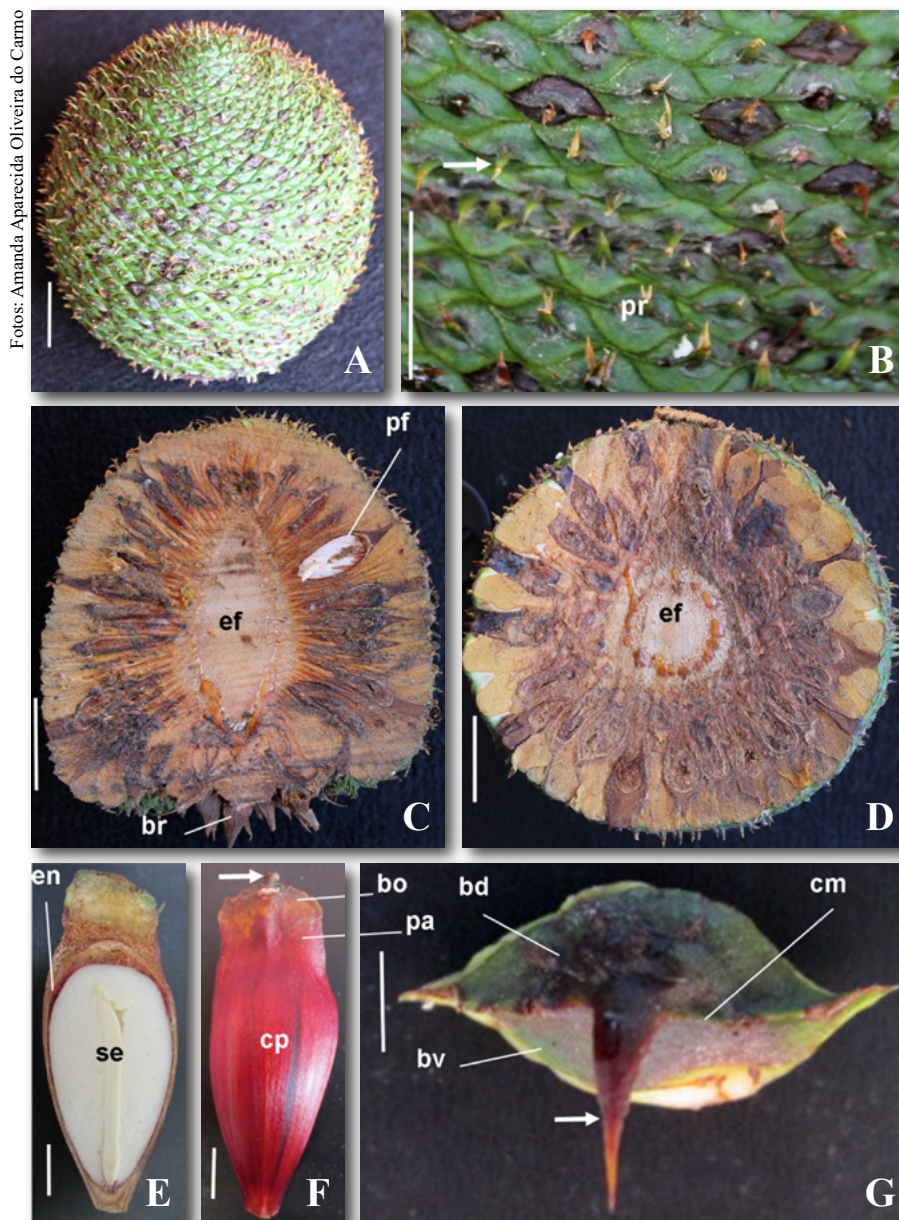
Megastróbilo e pinhão

O estróbilo feminino pode receber o nome de ginostrobilo ou megastróbilo, com folhas férteis denominadas de ginoporófilos ou megasporófilos.

As folhas da base do estróbilo são transicionais, podendo as mais basais, secas, de formato oval e de ápice agudo serem consideradas como brácteas (Figura 6C), e as demais assumem gradativamente a condição de ginoporófilos. Baseados no estudo de Hertel (1976), há vários tipos de ginoporófilos: a) os férteis consumados, que formam o pinhão (Figura 6C); b) os férteis frustrados, representados pelo pinhão chocho; c) os estéreis por aborto; e d) a folha terminal.

A literatura sobre a família Araucariaceae e *A. angustifolia* trata o pinhão, majoritariamente, como semente (Garcia, 2002; Judd et al., 2009; Sampaio et al., 2019). Entretanto, em uma outra corrente, Hertel (1980) considerou o pinhão de *A. angustifolia* como protocarpo, tipo de fruto não equivalente às sementes das gimnopermas. Para Hertel (1980), o pinhão contém uma “casca” que é o megasporófilo (equivalente ao carpelo das angiospermas) e a semente que consiste da “amêndoa (endosperma) contendo embrião, envolta pela parede esporangial como tegumento”. Para Hertel (1959, 1976), que estudou a vascularização do pinhão, a semente de *A. angustifolia* não é nua, mas está encerrada dentro da folha modificada do estróbilo. Assim, cada pinhão (Figura 6E e F) de Hertel (1980) é considerado como “fruto” seco, unilocular, unispérmico e indeiscente. Spjut (1994) adotou o conceito de Hertel (1980) e considerou o pinhão de *A. angustifolia* como espermatocarpo, subtipo gábululo.

Essa interpretação de Hertel (1980) para o pinhão de *A. angustifolia*, somada aos conceitos de fruto formulados por Spjut (1994), é adotada no presente capítulo. Nessa linha de interpretação, o pinhão é considerado aqui como “fruto”, consistindo de envoltório (pericarpo) e semente (Figura 6E e F), ligado ao eixo do cone (Figura 6C). Com base nos conceitos de fruto de Hertel (1959, 1976, 1980) e na classificação de frutos de Souza (2006), o “fruto”, de *A. angustifolia* pode



Fotos: Amanda Aparecida Oliveira do Carmo

Figura 6. Morfologia do cone (ginostrobilo) e do pinhão (protocarpio/espermatocarpio) de *Araucaria angustifolia*. Cone ou estróbilo (A); detalhe da superfície do cone mostrando vários pinhões (“protocarpos/espermatocarpos”) (B); cones seccionados longitudinal e transversalmente (C e D); pinhão “fruto” seccionado longitudinalmente, mostrando envoltório e semente (E); pinhão “frutêolo” mostrando as partes do envoltório (F); vista frontal do pinhão mostrando a borraina e apêndice (G). Seta = apêndice; bd = declive dorsal da borraina; br = bráctea; bv = declive ventral da borraina; bo = borraina; cm = crista mediana; cp = corpo do “protocarpio”; ef = eixo/receptáculo “do fruto”; en = envoltório; pa = porção aliforme; pf = “protocarpio” fértil; pr = “protocarpio”; se = semente.

ser considerado como agregado ou múltiplo, consistindo de vários “frutéolos” ou “frutículos” (chamados “protocarpos/espermatocarpos”) férteis, chochos ou estéreis. O envoltório (pericarpo) de cada “frutículo” (pinhão) consiste de duas partes concrecidas, uma dorsal e outra ventral formada pela lígula laminar. Em vista ventral, o pinhão (“protocarpo/espermatocarpo”) apresenta, de acordo com Hertel (1980), o apêndice; a borraina (dobra) de contorno losangular, com declives dorsal e ventral separados por crista mediana; a porção aliforme; e o corpo com a semente (Figura 6E-G).

Em detalhe, o “frutículo” ou pinhão (Figuras 6 e 7), seccionado transversal ou longitudinalmente, revela as seguintes partes: a) envoltório, formado pela folha estrobilar (equivalente ao pericarpo dos frutos das angiospermas), que tem natureza esclerificada e bastante resistente, e b) semente (Figuras 6E, 7B, D). A semente (Figuras 6E, 7B), por sua vez, consiste de a) tegumento, b) endosperma e c) embrião. O embrião é reto e possui dois “cotilédones” longos e vascularizados, cada um por quatro feixes (Figura 7B, E), plúmula reduzida e eixo hipocótilo-radicular (Figura 7B, D).

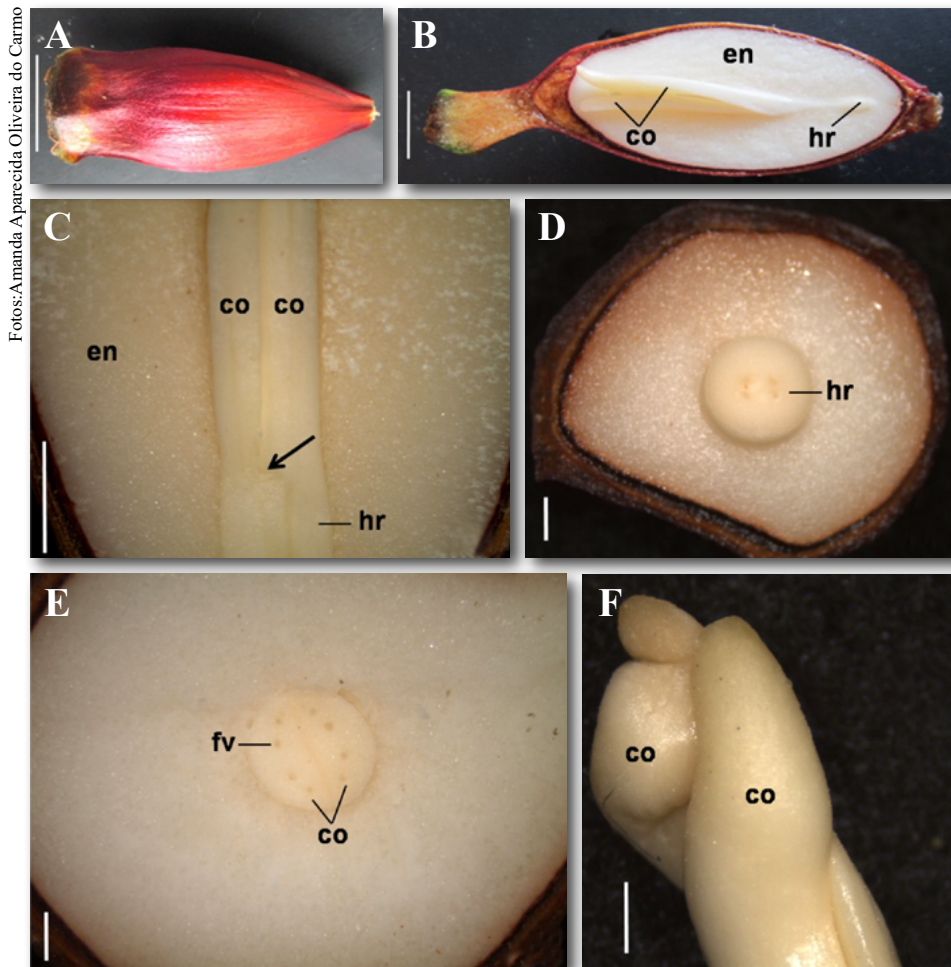


Figura 7. Morfologia do pinhão de *Araucaria angustifolia*. Aspecto geral do pinhão (“protocarpo/espermatocarpo”) (A); pinhão seccionado longitudinalmente, mostrando endosperma e embrião envolvidos pela folha estrobilar (B); endosperma e embrião seccionados longitudinalmente (seta indica plúmula) (C); pinhão seccionado transversalmente, mostrando endosperma, eixo hipocótilo-radicular (D) e dois “cotilédones” (E); ápices de ambos os “cotilédones” (F). co = “cotilédones”; en = endosperma; fv = feixe vascular; hr = eixo hipocótilo-radicular. Barras = 3 mm (C-F), 1 cm (B), 2 cm (A).



A estrutura do envoltório do pinhão foi detalhadamente investigada por Sampaio et al. (2019), que o consideraram como tegumento seminal, que é interpretação contrária à assumida nesse trabalho sobre parede do fruto. Segundo essas autoras, a parede do pinhão consiste de epiderme, esclerênquima e parênquima. A epiderme é cuticularizada e possui células mais ou menos comprimidas. O esclerênquima é composto de duas regiões: uma subepidérmica que consiste de 6-7 estratos de fibrotraqueídes, que exibem paredes espessas, pontoadas, lignificadas, com conteúdo lipídico; e outra mais interna, que mostra tipos diferentes de esclereídes, como macrosclereídes, esclereídes ramificadas e esclereídes filiformes. O tecido parenquimático, localizado mais internamente na parede do pinhão, pode apresentar compostos fenólicos e amido.

Considerações sobre a formação do embrião da semente

Goeten et al. (2020) relatam o processo estrutural minucioso de pré-fertilização e de reinterpretação da formação do embrião em *A. angustifolia*. De acordo com os autores, o desenvolvimento reprodutivo desde a polinização até a formação tardia do embrião leva cerca de 23 meses. Os autores complementam que, durante os 13 meses iniciais após a polinização, ocorre o desenvolvimento de células e tecidos essenciais para a reprodução, ainda em fase de pré-fertilização. Ao longo desse período, os pesquisadores notaram que o pólen assumia estado de dormência na região da micrópila (poro microscópico) do óvulo. O trabalho mostra, pela primeira vez, segundo os autores, poliembrião polizigótica, que consiste na fertilização múltipla de arquegônios (estruturas multicelulares do óvulo que contêm oosferas ou gametas femininos), em que cada um origina o respectivo embrião.

Referências

- BREUNINGER, M.; EINIG, W.; MAGELI, E.; CARDOSO, E.; HAMPP, R. Mycorrhiza of Brazil Pine (*Araucaria angustifolia* [Bert. O. Ktze.]). **Plant Biology**, v. 2, p. 4-10, 2000.
- GARCIA, R. J. F. Araucariaceae. In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; GIULIETTI, A. M.; MELHEM, T. S.; BITTRICH, V.; KAMEYAMA, C. (ed.). **Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: FAPESP, Hucitec, 2002. v. 3. p. 1-2.
- GOETEN, D.; ROGGE-RENNER, G. D.; SCHMIDT, E. C.; BOUZON, Z. L.; FARIAS-SOARES, F. L.; GUERRA, M. P.; STEINER, N. Updating embryonic ontogenesis in *Araucaria angustifolia*: from Burlingame (1915) to the present. **Protoplasma**, v. 257, p. 931-948, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01481-5>.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer Verlag, 1978. 444 p.
- HERTEL, R. J. G. Contribuições para a fitologia teórica II. Alguns conceitos de carpologia. **Humanitas**, v. 4, n. 4, p. 1-43, 1959.
- HERTEL, R. J. G. Estudos sobre *Araucaria angustifolia* II. A constituição do estróbilo. **Acta Biológica Paranaense**, v. 5, n. 3-4, p. 3-25, 1976.
- HERTEL, R. J. G. **Interpretação morfológica da *Araucaria angustifolia***. Curitiba, 1980. Tese apresentada em concurso para professor titular na Universidade Federal do Paraná.
- JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Ficha de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.



- MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, N. C. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 160). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/307327>.
- MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S. F. B.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Mycorrhiza**, v. 1, p. 211-215, 2003.
- ROSA, T. S.; HILLIG, E.; VIANA, L. C. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze e sua relação com os anéis de crescimento. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2013.
- SAMPAIO, D. A.; GARCIA, R. A.; LIMA, H. R. P. Anatomical and physicochemical characterization of the *Araucaria angustifolia* seed coat. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, e20170867, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.086717>.
- SILVEIRA, T. I. **Morfologia foliar de espécies arbóreas de um capão de floresta ombrófila mista, PR, Brasil**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SOUZA, L. A. Fruto. In: SOUZA, L. A. (org.). **Anatomia do fruto e da semente**. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2006. p. 9-123
- SPJUT, R. W. A systematic treatment of fruit types. **Memoirs of the New York Botanical Garden**, v. 70, p. 1-182, 1994.



3

A araucária e suas especificidades

Ananda Virginia de Aguiar
Valderês Aparecida de Sousa
José Elidney Pinto Júnior
Sandra Bos Mikich
Dieter Liebsch

A família Araucariaceae

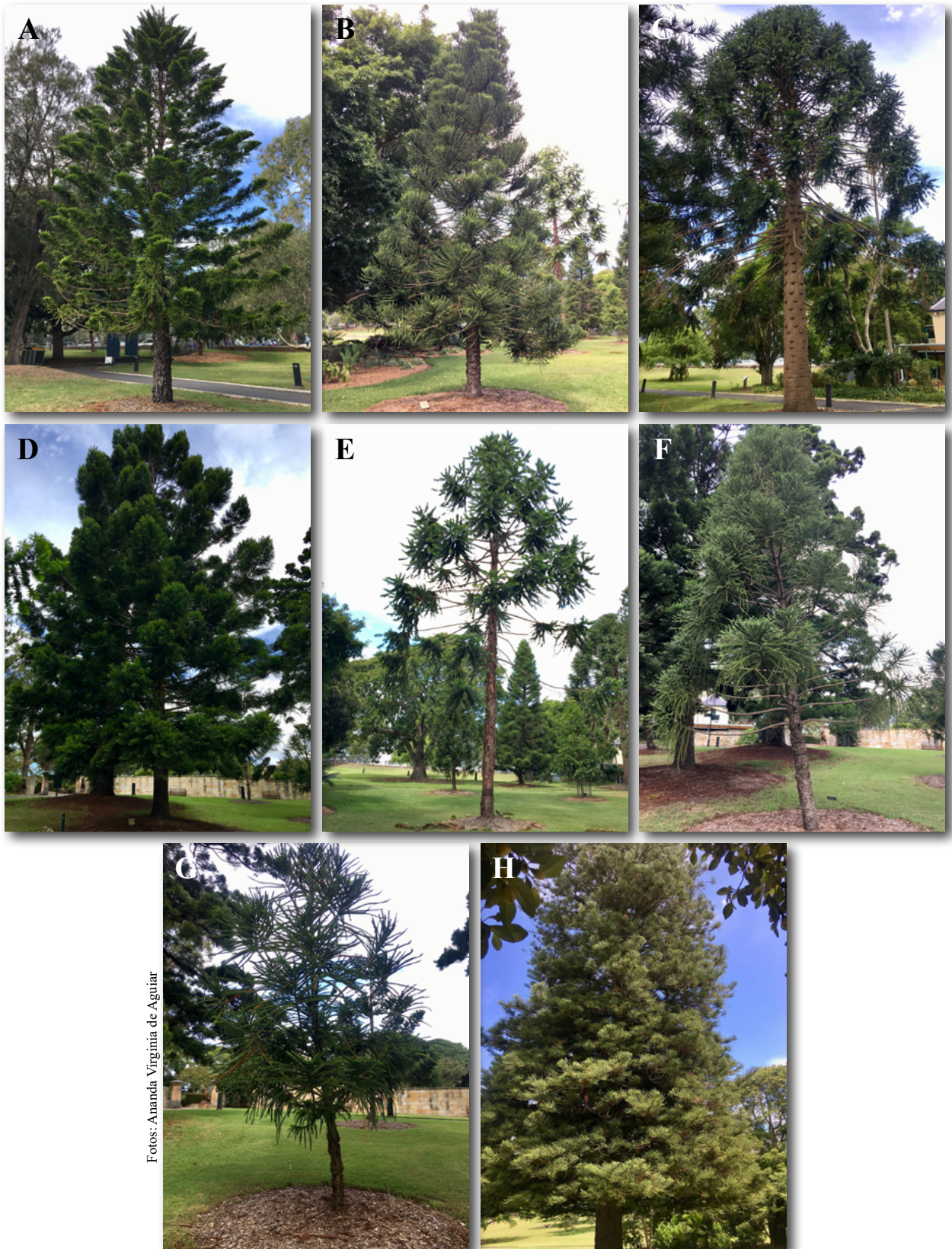
A família Araucariaceae é a menor dentre as oito da divisão das coníferas (Eckenwalder, 1976; Zonneveld, 2012), compreendendo 35 espécies distribuídas em três gêneros: *Araucaria* de Jussieu, *Agathis* Salisbury e *Wollemia* Jones, Hill and Allen. Vinte espécies de *Agathis* são relatadas, enquanto *Araucaria* compreende 20 espécies e *Wollemia* apenas uma (Stockey; Ko, 1986; Enright; Hill, 1995; Eckenwalder, 2009; Farjon, 2010; Evans, 2020). Inicialmente, o gênero *Araucaria* compreendia três seções (Ntima, 1968): *Colymbea*, *Intermedia* e *Eutacta*. Atualmente, relata-se quatro seções, *Araucaria*, *Bunya*, *Intermedia* e *Eutacta*, sendo distribuído no Hemisfério Sul, incluindo a Austrália, Nova Guiné e a América do Sul, ao passo que algumas espécies de *Agathis* ocorrem da Malásia ao Equador e *Wollemia* no sudeste da Austrália. A diferença mais marcante entre gêneros está na disposição das “folhas” sobre os galhos, sendo que em *Araucaria* estão dispostas na forma de espiral, em *Agathis* são opostas e localizadas distintamente e em *Wollemia* também são opostas, mas dispostas em quatro linhas. De acordo com Ntima (1968), *Agathis* difere de *Araucaria* pelas “folhas” planas e largas, ao invés de estreitas. Outras diferenças tais como a monoiccia de *Agathis* e a produção de estróbilo masculino solitário são apontadas. Ademais, a forma do cone, no gênero, varia de subgloboso a ovoide. Ressalta-se, no entanto, que a principal diferença está no fato de a semente ser livre de escamas ovulíferas, mostrando asa assimétrica. Já as espécies de *Araucaria* são dioicas e apresentam folhas lanceoladas, o estróbilo masculino é solitário ou disposto em aglomerados e as sementes são anexas às escamas ovulíferas.

Ilustrações incluindo diferentes gêneros e espécies da família Araucariaceae são apresentadas nas Figuras 1 a 6, incluindo espécies australianas e da América do Sul.

Fotos: Ananda Virginia de Aguiar



Figura 1. Florestas com Araucária.



Fotos: Ananda Virginia de Aguiar

Figura 2. Árvores de *Araucaria nemorosa* (A), *Araucaria luxurians* (B), *Araucaria biramulata* (C), *Araucaria cunninghamii* (D), *Araucaria hunsteinii* (E), *Araucaria bidwillii* (F), *Araucaria montana* (G) e *Araucaria heterophylla* (H), em Sidney, Austrália.

Fotos: Ananda Virginia de Aguiar

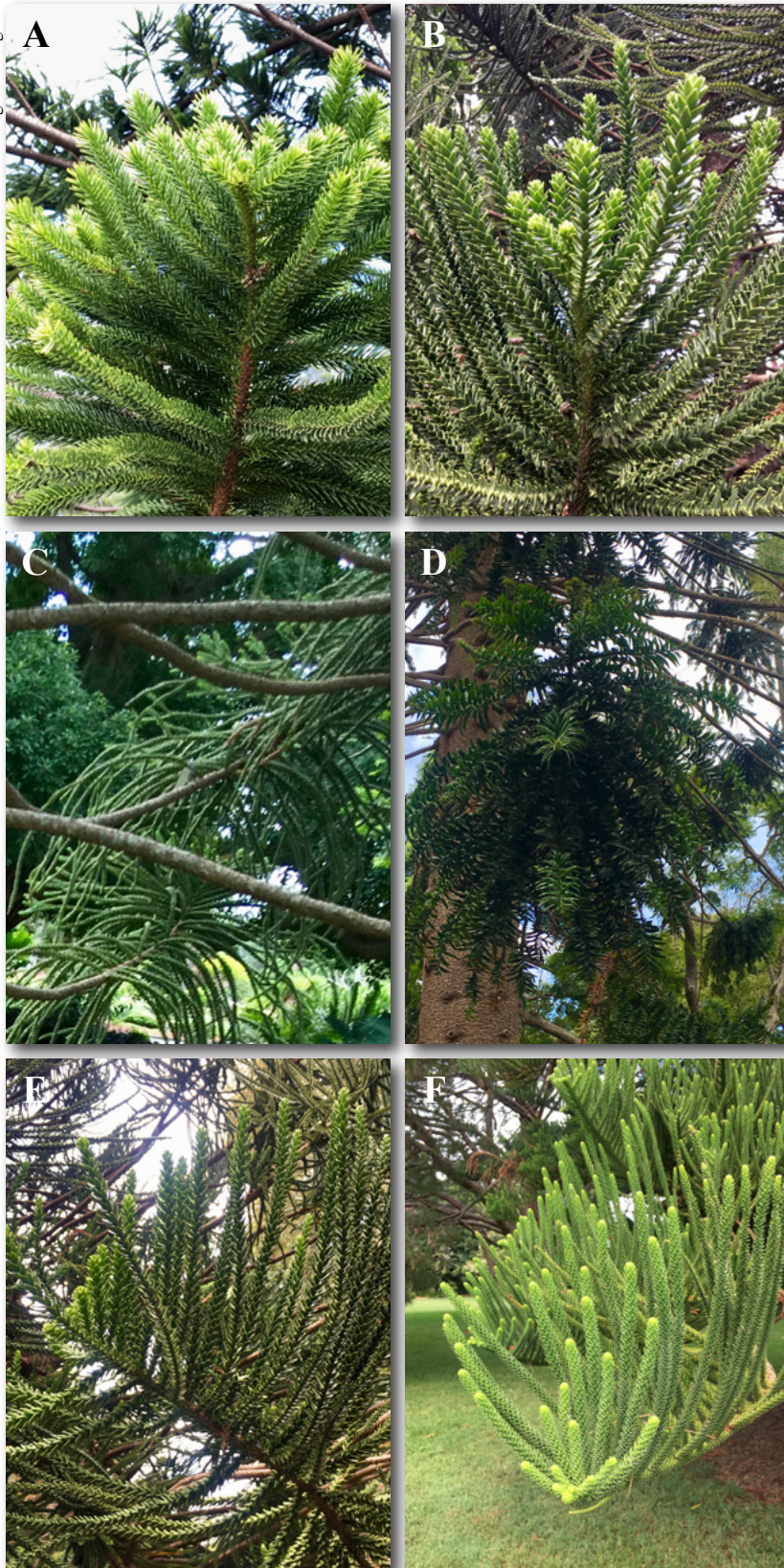


Figura 3. Acículas de *Araucaria nemorosa* (A), *Araucaria luxurians* (B), *Araucaria biramulata* (C), *Araucaria bidwillii* (D), *Araucaria montana* (E) e *Araucaria heterophylla* (F).



Fotos: Ananda Virginia de Aguiar

Figura 4. Tronco de *Araucaria nemorosa* (A), *Araucaria luxurians* (B), *Araucaria biramulata* (C), *Araucaria cunninghamii* (D), *Araucaria hunsteinii* (E), *Araucaria bidwillii* (F), *Araucaria montana* (G) e *Araucaria heterophylla* (H).

Fotos: Ananda Virginia de Aguiar



Figura 5. Aspectos gerais de *Agathis robusta*.



Fotos: Ananda Virginia de Aguiar

Figura 6. Aspectos gerais de *Wollemia nobilis*.

Embora a ocorrência atual de Araucariaceae seja restrita, foram encontrados fósseis nas florestas do Hemisfério Norte, no Mesozoico (final do Triássico, Jurássico e Cretáceo), de acordo com Kendall (1949), Stockey (1982) e Enright e Hill (1995). A seção *Eutacta* foi identificada em registros fósseis, no início do Jurássico, na Índia Peninsular, nordeste da Austrália, Nova Zelândia e Graham Land (McArthur, 1949, citado em Ntina, 1968), permanecendo na Índia e Nova Zelândia até o final do Mesozoico, 135 milhões de anos atrás. Na África do Sul, a ocorrência dessa seção data do final do Mesozoico. Supõe-se, ainda, que as espécies pertencentes a essa seção se difundiram para a Patagônia, permanecendo, no mínimo, até o Eoceno (entre 52,5 e 45 milhões de anos atrás). A seção *Colymbea* foi primeiramente identificada no médio Jurássico, na Nova Zelândia e New South Wales (McArthur, 1949), sobrevivendo até o final do Mesozoico, com poucas espécies encontradas no Eoceno (Terciário, em sedimentos do oeste da Austrália e Tasmânia). No final do Mesozoico, remanescentes de *Colymbea* foram encontrados na Patagônia, Terra do Fogo e Sul do Chile. Nesse período, Araucariaceae era distribuída também ao norte do Equador. Os remanescentes fósseis dessa família foram encontrados na Inglaterra e Europa Continental e, no Cretáceo em Dakota e Wyoming, na América do Norte. De acordo com McArthur (1949), um período de vulcanismo mundial, no final do Cretáceo (70-80 milhões de anos atrás), provocou grande quantidade de poeira e cinzas, cobrindo a terra extensamente e teria extinguido a vegetação. Segundo o autor, esse evento explica o desaparecimento de *Araucaria* de grande parte da área de ocorrência natural, e compara esse fenômeno à rápida extinção das densas samambaias carboníferas e florestas de licopódios, no final do Paleozoico, conhecido como um período de intenso vulcanismo. Dessa forma, a família Araucariaceae era mais diversa e amplamente distribuída durante o Mesozoico do que atualmente. Portanto, o gênero *Araucaria* apresentava distribuição em Gondwana, onde foram encontrados fósseis com mais de 200 milhões de anos. Após o Cretáceo Superior, o gênero foi extinto do Hemisfério Norte (Van der Ham et al., 2010) e sua distribuição ficou restrita ao Hemisfério Sul no Terciário (Eckenwalder, 2009). De acordo com Leite e Klein (1990), a seção *Colymbea* se expandiu na América do Sul e deu origem a *A. angustifolia* (no Brasil) e *A. araucana* (no Chile) e, na Austrália, originou *A. bidwillii* (Enright, 1982).

Das 20 espécies do gênero *Araucaria*, treze foram encontradas na Nova Caledônia, em solos ultrabásicos e com alto teor de metais pesados, como o ferro e o níquel, que são tóxicos para a



maioria das plantas. A especiação do gênero pode ter sido favorecida nesses solos (Zonneveld, 2012; Evans, 2020). Atualmente, a distribuição das espécies de araucária é disjunta, sendo que 18 delas ocorrem na Australasia e duas na América do Sul. Essas espécies estão agrupadas em quatro seções: *Eutacta*, composta por treze espécies (*A. bernieri*, *A. biramulata*, *A. columnaris*, *A. humboldtensis*, *A. laubenfelsii*, *A. luxurians*, *A. montana*, *A. muelleri*, *A. nemorosa*, *A. rulei*, *A. schmidii*, *A. scopulorum*, *A. subulata*, *A. goroensis*) que se encontram na Nova Caledônia (Manauté et al., 2003; Zonneveld, 2012; Ruhsam et al., 2016; Mill et al., 2017), uma (*A. heterophylla*) na Ilha Norfolk (Austrália) e outra na Ilha de Papua Nova Guiné (*A. cunninghamii*); seção *Araucaria*, que engloba somente as duas espécies da América do Sul que se encontram no Brasil, Argentina e Paraguai (*A. angustifolia*), Argentina e Chile (*A. araucana*); seção *Bunya*, composta somente por uma espécie (*A. bidwillii*), que ocorre na Austrália; e a seção *Intermedia*, que abrange apenas *A. hunsteinii*, encontrada na Papua Nova Guiné (Manauté et al., 2003; Zonneveld, 2012).

A espécie *Araucaria angustifolia*

Segundo Kershaw e Mc Glone (1995), *A. angustifolia* apresenta registros fósseis substanciais no final do Quaternário, no Sul e Brasil Central. Evidências de pólen no final do Pleistoceno indicam uma significativa expansão das Florestas com Araucária nas altitudes mais baixas que, no momento, são ocupadas por Savanas. Essa expansão, de acordo com De Oliveira e Colinvaux (1992) citados por Kershaw e Mc Glone (1995), sugere o declínio de temperatura de, no mínimo, 7 °C, bem como um nível maior de umidade. A distribuição dessa espécie se aproximou da atual na transição do Pleistoceno para o Oloceno (Ledru, 1993). Pólens datados de 30.000 BP (*before present*) indicaram que o clima úmido e a vegetação relativamente aberta prevaleceram durante o glacial máximo. A fase subsequente de *Araucaria*, entre 13.000 e 8.000 anos BP, tem sido considerada um indicador de climas mais frios e úmidos. Posteriormente, temperaturas mais elevadas propiciaram a substituição dessa espécie por Florestas Latifoliadas Semidecíduas (Kershaw; Mc Glone, 1995). O histórico da expansão e migração de *A. angustifolia* é tratado no Capítulo 1 deste livro. Além da dispersão natural, Lauterjung et al. (2018) obtiveram evidências de influência antropogênica. Segundo os autores, deve-se considerar a atividade humana nos estudos a respeito da fitogeografia, genética de populações, distribuição e conservação de plantas sob processo de domesticação.

A. angustifolia ocorre, predominantemente e mais continuamente, no Brasil, na Argentina e no Paraguai. No Brasil, a espécie predomina nos estados da região Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) e, em populações esparsas, na região Sudeste (São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo). Na Argentina ocorre na região de Misiones (Cozzo, 1980) e no leste do Paraguai, na Reserva Nacional del Pinalito, localizada no sul do Departamento do Alto Paraná, a sudoeste de Foz de Iguazu, PR (Reitz; Klein, 1966; Lopez et al., 1987; Carvalho, 2003).

A região de ocorrência natural abrange latitudes de 19°15'S (Serra do Padre Ângelo, em Conselheiro Pena, MG, no Alto Rio Doce) a 31°30'S (Canguçu, RS). Porém, as populações de maior interesse econômico situam-se entre 22°S e 28°S (Ntima, 1968). Essa região estende-se, longitudinalmente, de 41°30'W a 55°00'W (Golfari, 1971; Lopez et al., 1987). A espécie encontra-se em altitudes que variam de 211 m a 2.400 m e, preferencialmente, de 700 m a 1.300 m (Wrege et al., 2017; Sousa et al., 2020). Temperaturas adequadas são encontradas nas menores latitudes, quando as altitudes são mais elevadas. Sendo assim, ao norte do estado de São Paulo, a espécie ocorre somente a partir de 750 m. No Paraná, a altitude mínima de ocorrência natural é 500 m no sudoeste e 800 m no leste (Hueck, 1972; Sousa et al., 2020)



De acordo com Lamprecht (1989), a espécie ocupava, originalmente, uma área de 250.000 km², distribuída da seguinte forma: 40% de sua superfície no estado do Paraná, 31% em Santa Catarina, 25% no Rio Grande do Sul, 3% em populações esparsas no estado de São Paulo e sul de Minas Gerais e 1% no Rio de Janeiro. Devido à sua exploração indiscriminada para uso comercial e a expansão das fronteiras agrícolas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, especialmente no século XX, os remanescentes de araucária encontram-se reduzidos e fragmentados. Uma redução de 97% na sua área original foi apontada por Enright et al. (1995). Em 2001, uma estimativa apontou que apenas 0.8% dos remanescentes primários eram mantidos no estado do Paraná (Castella et al., 2001). Como consequência, *A. angustifolia* é considerada como criticamente ameaçada, segundo o critério A2 (Farjon, 2006) pela International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) e vulnerável, segundo a lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (Ibama, 1992). Em decorrência dessa situação, uma forte restrição legal foi estabelecida desde 24 de maio 2001, por meio da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 278/2001 (Conama, 2001), proibindo o corte da araucária em populações naturais, com a intenção de assegurar a conservação genética dos remanescentes, especialmente pelo desconhecimento da estrutura genética e dinâmica dessas populações. Essa medida, no entanto, não atingiu integralmente seu propósito, já que em muitos casos plântulas da espécie são eliminadas pelos proprietários, que alegam falta de perspectiva de uso e, portanto, consideram a regeneração natural da espécie como um empecilho para o uso da terra nas suas propriedades. Como o corte de árvores plantadas é permitido, tem-se buscado uma maneira de incentivar a conservação pelo uso a partir do consumo de pinhão, madeira e outros produtos derivados dessa espécie.

A araucária aparece associada a muitas outras espécies em sua região de ocorrência natural. De acordo com Fähser (1981), 50 a 60 espécies ocorrem em um hectare. Dentre essas espécies, destacam-se a erva-mate (*Ilex paraguariensis*), imbuia (*Ocotea porosa*), sassafrás (*Ocotea odorifera*), canela-preta (*Ocotea catharinensis*) e cedro (*Cedrela fissilis*). Os gêneros *Dicksoniana* e *Podocarpus* também se fazem presentes. Tem-se notado a associação marcante dessa espécie com a erva-mate e as espécies do gênero *Ocotea*.

A araucária é uma espécie naturalmente dioica, mas a monoícia é observada em raras ocasiões, tendo sido atribuída por Shimizu e Oliveira (1981) a danos físicos ou doenças sofridos pela árvore. Nesse sentido, um trabalho investigativo foi conduzido por Stefenon et al. (2008), com o intuito de detectar injúrias ou infecções nas árvores monoicas. Concluíram esses autores, no entanto, que os cones masculinos, femininos e grãos de pólen eram morfológicamente normais, não havendo indícios dos supostos traumas. Danner et al. (2013) apontaram, ainda, outras questões para a monoícia. Os autores estudaram o potencial dessa condição modificar a estrutura genética das populações, e concluíram que as árvores monoicas apresentam potencial limitado, pela baixa estimativa da taxa de autofecundação e a rara ocorrência desse evento nas populações naturais.

A araucária é considerada uma espécie secundária longa com comportamento pioneiro (Imaguire, 1979), pois avança sobre os campos para formar novos capões, cuja composição varia conforme as condições edafoclimáticas. Essa espécie emergente, com fraca regeneração natural em ambientes poucos perturbados, marca a fisionomia da vegetação (Carvalho, 2002). Planta heliófita, busca o dossel da floresta e associa-se com espécies de outros gêneros que ocupam o estrato abaixo das copas do pinheiral (Hertel, 1980). A araucária é característica e exclusiva da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), nas formações Aluvial (galeria), Submontana, Montana e Alto-Montana (Veloso et al., 1991).

O desenvolvimento da espécie pode ser visualizado pela alteração de forma na sua copa: cônica, umbelada e caliciforme (Nogueira; Seitz, 1990). As plantas jovens apresentam copa cônica, com



ramos que variam em número de dois a três. A partir do desenvolvimento do terceiro verticilo, começa a esboçar a forma piramidal e, à medida que a planta cresce, ocorre a desrama natural (Reitz et al., 1978; Mattos, 1994). Na fase adulta, a araucária assume o aspecto original ou diferenciado das demais árvores devido às suas ramificações na forma de taça, no dossel da floresta. A árvore atinge de 10 m a 35 m de altura e 50 cm a 120 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), podendo alcançar 50 m de altura e 250 cm ou mais de DAP (Carvalho, 2002).

A araucária é autocórica, de modo que suas sementes são dispersas majoritariamente pela gravidade, sendo que essa distância foi calculada em 70 m por Medina-Macedo et al. (2015). Existem evidências na literatura de dispersão por mamíferos (Carvalho, 2002) e pássaros. Ressalta-se, ainda, que a espécie é anemófila, isto é, a dispersão do pólen se dá pelo vento. Como o pólen apresenta elevada taxa de flotação (Sousa; Hattemer, 2003), sendo desprovido de aparatos para a sua dispersão, a distância atingida pelo pólen de *Araucaria* é reduzida em comparação com a das espécies de *Pinus* que é alado, o que facilita a dispersão.

Variedades de araucária

A importância da araucária na alimentação humana é destacada de longa data, especialmente nas áreas de ocorrência natural da espécie. Atualmente, o pinhão constitui-se em uma das principais fontes de renda para os pequenos e médios produtores da região Sul do Brasil. Além disso, destaca-se o papel ecológico do pinhão na alimentação da fauna dos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista (Figura 7). As variações que ocorrem entre e dentro das populações da araucária, com respeito à produção de sementes, contribuem para a disponibilidade desse produto durante praticamente todo o ano. Variações morfológicas, intraespecíficas, têm sido evidenciadas há décadas, por pesquisadores como Reitz e Klein (1966) e Mattos (1972), e produtores em geral. Normalmente, as variações morfológicas são classificadas de acordo com a variação temporal na maturação, cor e tamanho dessas sementes. Reitz e Klein (1966) e Mattos (1994) relatam também aspectos relacionados aos ramos e casca (Tabela 2), tais como as árvores de casca lisa, com coloração arroxeada, que se desprendem do caule e as de cascas grossas (Mattos, 1994). Segundo este autor, a casca lisa ocorre com menor frequência que a grossa.



Fotos: Ananda Virginia de Aguiar

Figura 7. Florestas de Araucária em Lebon Régis, SC.

Tabela 2. Aspectos morfológicos das variedades de *Araucaria angustifolia*, conforme Reitz e Klein (1966) e Mattos (1972, 1994) e outros.

Variedades	Ramos	Folhas	Cor do pinhão	Descrições complementares
Alba ⁽¹⁾			Branco-amarelado quando seco ⁽¹⁾	
Semi-alba ⁽¹⁾			Vermelho com ponta branca quando seco ⁽¹⁾ ; coloração mais clara ⁽³⁾	
25-de-março ⁽³⁾			Branco-amarelo ⁽³⁾	
Striata ^(1,2)			Vermelho com estria vermelha escura ^(1,2)	
Nigra ⁽¹⁾			Vermelho normal quando seco e escuro não seco	
Angustifolia ^(1,2) (meia-safra) ⁽³⁾	Ramos secundários eretos e curtos (50 cm) ⁽¹⁾	“Folhas” opacas ⁽¹⁾	Vermelho normal ^(1,2) (vermelho claro a escuro ⁽³⁾)	Largura e comprimento do pinhão (2 cm a 2,6 cm e 5,5 cm a 6,5 cm ¹)
Caiova ^(2,3)			Vermelho claro a escuro ⁽³⁾ ; vermelho com ponta branca ⁽²⁾	Largura e comprimento do pinhão (2 cm a 2,6 cm e 5,5 cm a 6,5 cm ¹)
Pelado			Cor normal e sem casca em um dos lados	Informação: produtores e outros
Alaranjado			Aspecto alaranjado	Informação: produtores
Indehiscens ⁽²⁾ (macaco) ^(3,4)			Vermelha base branca ou branca-amarelada ⁽²⁾ (vermelho ou vermelho escuro com ponta branca) ^(3,4)	Sementes não caem quando maduras e pinhões menores ⁽¹⁾ ; largura e comprimento do pinhão (1 cm a 2 cm e 3,5 cm a 4,5 cm) ^{1/}
Dependens ^(1,2)	Ramos secundários delgados, flexíveis pendentes e não ramificados (1,8 cm) e outros eretos ^(1,2)	Folhas brilhantes ^(1,2)		
Elegans ⁽¹⁾	Delgados e numerosos ⁽¹⁾	Menores e mais juntas ⁽¹⁾		
Vinacea ⁽²⁾				Desprendimento de placas de casca
Catharinensis (forma) ⁽²⁾			Sementes grandes e cor vermelha ⁽²⁾	Bráctea escamiforme superior maior que a bráctea inferior (0.5 cm) ou escama fértil ⁽²⁾
Monoica (forma) ⁽¹⁾				Estróbilos masculinos e femininos na mesma planta

⁽¹⁾Reitz e Klein (1966); ⁽²⁾Mattos (1972, 1994); ⁽³⁾Adan (2013); ⁽⁴⁾Variedade são-josé (sementes mais claras) segundo Zechini et al. (2012).

Reitz e Klein (1966) denominaram as variações morfológicas de “variedades”, tendo descrito nove delas e uma forma (monoica). Além de considerarem a variedade “angustifolia”, foram pioneiros nessa descrição e relataram as variedades: “alba”, caracterizada pela produção de pinhões branco/amarelados, porém, com um tom avermelhado quando secos; “caiová”, caracterizada principalmente pela maturação dos pinhões no período de junho a julho; “elegans” ou “pinheiro-elegante”, com ramos delgados e numerosos; “nigra”, caracterizada pelos pinhões vermelho-escuros quando úmidos e vermelhos quando secos; “são-josé”, uma das mais citadas, caracterizada pelo período de maturação precoce, sendo conhecida como o primeiro pinhão do ano. A variedade “semi-alba” apresenta um tom avermelhado e ponta mais clara; e a “striata”, pinhões vermelhos e estrias vermelho-escuras. Reitz e Klein (1966) descrevem a forma “monoica”, pela árvore caracterizada pela monoiccia (presença de estróbilos masculinos e femininos na mesma planta).

Mattos (1972), por sua vez, reportou cinco variedades, incluindo: “angustifolia”; “catharinensis”, caracterizada pelas sementes grandes, avermelhadas com grande bráctea; “dependens”, com ramos delgados e longos, com cerca de 1,8 m, mais de três vezes o tamanho normal de 50 cm, além de apresentar folhas mais brilhantes; “pinhão-macaco” (Figura 8), com a característica particular da não deiscência dos seus pinhões, podendo até germinar na copa das árvores, caindo somente quando derrubados, por vezes pelos macacos, o que deu origem ao nome dessa variedade; e “vinácea”, diferenciada por apresentar tronco cor de vinho após o desprendimento da casca, principalmente próximo à copa.

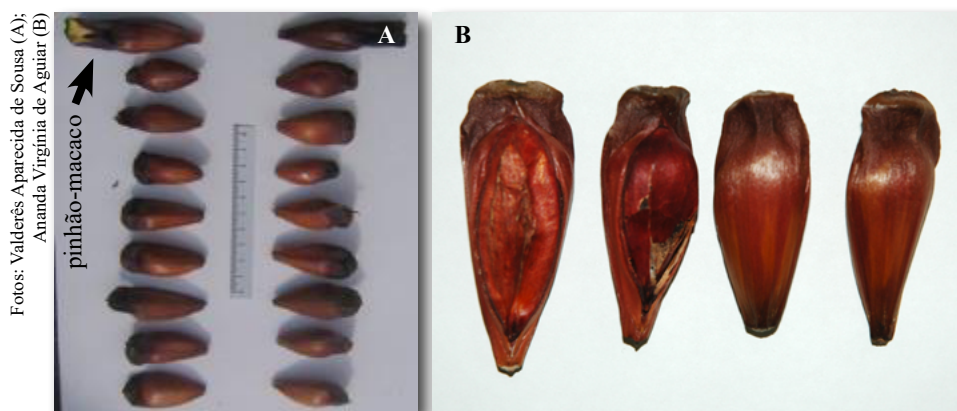


Figura 8. Variedades de araucária destacando o pinhão-macaco e pinhão-pelado.

Estudos envolvendo produtores foram conduzidos por Adan (2013), que citou 12 variedades de araucária, sendo cinco encontradas em Urubici, SC, e onze em Paineira, SC: “28 fevereiro”, “pinhão-doce”, “são-josé” (sancti josephi), “25-de-março”, “meia-safra” (*angustifolia*), “meia-safra branca”, “meia-safra vermelha”, “caiová”, “macaco” (indehiscens), “macaco-falha-branca”, “macaco-falha-seda”. As mais citadas na região são “25-de-março”, “meia-safra”, “caiová” e “macaco”. Subvariedades também foram tratadas por Adan (2013), tais como: “meia-safra”, com subvariedades vermelho e branco, e “macaco”, com as sub-variedades macaco-falha-branca e macaco-falha-seda. Segundo a autora, das nove variedades citadas por Reitz e Klein (1966) e das cinco variedades e uma forma citadas por Mattos (1994), a maioria é reconhecida pelos produtores, com exceção das variedades “vinácea” e “dependens”, sendo que a última ocorre especificamente nas regiões serranas do Rio de Janeiro, além da forma “catharinensis”, que apresenta brácteas escamiformes superiores, ultrapassando 0,5 cm o comprimento das brácteas inferiores, com o



amadurecimento das pinhas ocorrendo em julho. As variedades “caiová”, “macaco”, “meia-safra” e “25-de-março” foram as mais citadas pelos produtores, com destaque para a “caiová”. Essa variedade produz o maior tamanho e peso de pinhão, apresentando um melhor sabor (adocicado). Além disso, amadurece mais tarde, após a época de maior disponibilidade de pinhão (Zechini, 2012; Zechini et al., 2012; Adan, 2013). Tagliari (2013) e Tagliari e Peroni (2018) citam que os produtores do entorno do Parque Nacional de São Joaquim, SC, reconhecem quatro variedades de araucária: “cajuvã”, “macaco”, “do-cedo” e “do-tarde”. Os pinhões mais comercializados na região são da variedade “cajuvã” (26,7%), sendo os meses de junho e julho os melhores para a comercialização. Em coleções ativas de germoplasma (CAG) na Embrapa Florestas, em Colombo (35 anos), compostas por populações de doze regiões de ocorrência natural, foram encontradas cinco supostas variedades (Soares et al., 2017): “pinhão-macaco”, “caiová”, “monóica”, “são-josé” e “vinácea”. A forma “catharinensis” e a variedade “dependens” não foram observadas. Os autores comentam que caracteres morfológicos vegetativos que poderiam contribuir para diferenciar fenotipicamente árvores adultas não foram observados na CAG, tornando a identificação das variedades impossível antes do período de maturação dos pinhões. Soares et al. (2017) verificaram variações quanto à espessura da casca entre plantas de diferentes procedências, na fase adulta. Se forem consideradas as variedades citadas por Reitz e Klein (1966), Mattos (1994), Zechini et al. (2012), Adan (2013), bem como duas [pinhão pelado (Figura 8) e alaranjado] encontradas por produtores da região de Lages e Caçador, SC, pode-se inferir que existem em torno de 17 variedades de araucária conhecidas por produtores e estudiosos.

Segundo produtores e pesquisadores, o ambiente também tem influenciado, diferentemente, os indivíduos das “variedades” nas regiões onde estas são encontradas. Portanto, pesquisas a esse respeito devem ser realizadas e ampliadas. Por exemplo, o tamanho do pinhão da variedade “macaco” ainda é um assunto polêmico, visto que em alguns ambientes no estado do Paraná essa é uma variedade que produz os maiores pinhões. Segundo Adan (2013), a ocorrência de geadas durante a safra de “caiová” pode contribuir para o sabor adocicado do pinhão. Shibata et al. (2016) observaram que as variedades “angustifolia” e “caiová” produziram sementes com melhor qualidade fisiológica e, portanto, mudas mais vigorosas, enquanto “são-josé” apresentou os mais baixos teores de reserva, devido à sua maturação ocorrer mais precocemente.

Adan (2013), Adan et al. (2016) e Soares et al. (2017) salientam não haver uma conformidade em relação ao número de variedades, nos trabalhos de Reitz e Klein (1966) e Mattos (1972). Os autores concordam que, das onze variedades descritas, apenas três devem ser realmente consideradas variedades. Discordam ainda dos critérios referentes à cor, tamanho e época de maturação das sementes. Soares et al. (2017) discordaram, especialmente, sobre duas variedades e uma forma: “são-josé”, “elegante” e “monoica”, respectivamente. Mattos (1972) também não concorda sobre a forma “monoica”, pelo fato de não expressar tal característica todos os anos. O autor considera que as características das variedades “são-josé” e “elegante” não são suficientes para diferenciá-las. O “pinheiro-são-josé”, mesmo que não reconhecido por Mattos (1972), é o mais citado pelos produtores como o que produz os primeiros pinhões do ano. De maneira geral, considerando outros aspectos como a textura, espessura e cor da casca, além da coloração do tronco, não há um consenso para diferenciar as variedades (Adan, 2013).

A duração da safra de pinhões para as diferentes variedades também tem sido objeto de discussão. Segundo Adan (2013), esse período se inicia em janeiro e termina em dezembro, enquanto Mattos (2011) afirma ocorrer, para algumas variedades, da segunda quinzena de fevereiro até o final de julho. Na literatura em geral são citadas três variedades, “pinheiros-precoces” (são-josé), os “intermediários” (angustifolia) e os “tardios” (caiová e macaco) (Tabela 1). O período de maturação do



pinhão, diferenciado entre as variedades, proporciona a disponibilidade de sementes praticamente durante todo o ano (onze meses). Somente em agosto não se verifica a disponibilidade de sementes dessa espécie (Corteletti, 2013), uma vez que as variedades “indehiscens” liberam sementes de setembro a janeiro, “sancti-josephi” de fevereiro a março, “angustifolia” de abril e maio e “caiová” de junho a julho (Tabela 1). Zechini et al. (2012) verificaram que, em algumas populações de Santa Catarina, a oferta de pinhão se estendeu por 14 meses, sobrepondo-se à produção do ano seguinte, na safra de 2011/2012. Portanto, os plantios comerciais estabelecidos com essas variedades podem proporcionar uma renda mensal constante para os produtores e alimento para a fauna silvestre. Todavia, os modelos de plantio devem ser estabelecidos de forma a considerar a sincronia da fenologia reprodutiva das variedades.

Tabela 1. Período de amadurecimento de pinhões de variedades de *Araucaria angustifolia* conforme Reitz e Klein (1966), Mattos (1972) e Adan (2013).

Variedades	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
28 fevereiro ⁽³⁾		Final										
Pinhão-doce ⁽³⁾												
Sancti-josephi ⁽¹⁾		25% ^{3/}										
25-de-março ⁽³⁾			71%									
Angustifolia ^(1,2)												
Caiová ^(1,2,3)						35%	37%					
Indehiscens ^(1,2,3)												
Novembro ⁽³⁾												
Geral												

⁽¹⁾Descritas por Reitz e Klein (1966); ⁽²⁾Mattos (1972); ⁽³⁾citadas por Zechini et al. (2012) e Adan (2013); *angustifolia* é citada como meia-safra, meia-safra vermelha e meia-safra branca (amplitude de produção de março a junho), a *indehiscens* como macaco, macaco-falha branca, macaco-falha seda (amplitude de produção de janeiro a dezembro), a *caiová* (amplitude de maturação de maio a setembro) (Zechini et al., 2012; Adan, 2013). Segundo Mattos (1994) a variedade *caiová* apresenta maturação de novembro a janeiro e a *indehiscens* de julho a agosto. Os dados na tabela referenciam a porcentagem do período de produção segundo Adan (2013) e Zechini et al. (2012).

Atualmente, outras variedades são citadas por produtores, além daquelas propostas por Reitz e Klein (1966) e Mattos (1972, 1994), porém muitas vezes com mudança na nomenclatura proposta por esses autores, tais como: “pinhão-alaranjado”, “pinhão-pelado” (Figura 8), “pinheiro-preto”, “pinheiro-ponta-branca”, “pinheiro-cajóvá”, “pinheiro-branco”, “meia-safra”, “novembro”, entre outras (Zechini, 2012; Zechini et al., 2012; Adan, 2013; comunicação pessoal¹).

Independentemente da nomenclatura, considera-se o fato de que a percepção popular tem contribuído muito para a detecção de diferenças na espécie, expressando uma diversidade genética que deve ser conhecida e preservada, tanto pelo viés ambiental quanto pelo econômico, com ampla possibilidade de uso desta espécie.

A maioria das “variedades” correm maior risco de extinção, principalmente, porque ocorrem em baixa densidade nos fragmentos florestais e em plantios, não sendo possível identificá-las morfológicamente, a não ser quando o indivíduo se encontra em reprodução (Zechini et al., 2012). Os autores citam que as variedades com maturação precoce e tardia (frequência <5%), “25-de-março”

¹ Observação de campo feita pela autora Ananda de Virginia Aguiar, na Embrapa Florestas em 2020.



e “macaco”, respectivamente, são as que correm maiores riscos de extinção. As variedades encontradas com maior frequência por Adan (2013) foram a “meia-safra”, “25-de-março”, “caiová” e “macaco”, com uma frequência relativa de 29,6%, 10%, 6,5% e 4,5%, o que corresponde a uma densidade absoluta de 14,2; 5; 3 e 0,6 árvores/ha, respectivamente. Esse autor destaca o desaparecimento de seis variedades relatadas por produtores de Paineira e Urubici, em Santa Catarina: “pinhão-doce”, com o período de produção entre maio e junho e sementes de coloração vermelha e listrada; a que amadurece em “novembro”; “28-de-fevereiro”; “pinhão-esfarelento”; “pinhão-abacaxi”, que apresenta uma pinha comprida e pinhão grande, produzindo na entressafra; e “pinhão-anão”, que apresenta pinha e pinhões menores que os outros. As variedades “pinhão-doce”, “28-de-fevereiro” e “novembro” ainda podem ser encontradas, mas em menor proporção às aquelas observadas no passado (Adan, 2013). Portanto, a conservação das variedades considerando, principalmente, aquelas de menor frequência é a estratégia mais adequada para conservação genética e uso da espécie.

Poucos estudos têm considerado as variedades em diferentes estágios de crescimento em ambiente controlado. Coutinho (2007) analisou a produção de “angustifolia”, “caiová” e “indehiscens”, além de duas procedências do Rio Grande do Sul, e constatou um crescimento inicial da parte aérea e raízes de plântulas superior da variedade “angustifolia” em relação às demais. Segundo este autor, o potencial de sobrevivência e crescimento inicial da “angustifolia” pode ser um indicativo de sua predominância, nos fragmentos naturais.

Estudos sobre variedades de araucária foram conduzidos pela Embrapa Florestas, em parceria com a empresa Remasa, em Bituruna, PR (Sousa et al., 2010. Não publicado²). O respectivo projeto foi concebido com a intenção de caracterizar as variedades, utilizando-as para suprir alimento à fauna durante todo o ano, a fim de reduzir os danos de macacos-prego aos plantios de pinus, já que os danos são produzidos para o consumo de seiva de pinus quando a disponibilidade de frutos e sementes florestais é baixa (Mikich; Liebsch, 2014). As variedades consideradas nesse estudo foram: “pinhão-macaco”, “pinhão-são-josé”, “pinhão-ponta-branca”, “pinhão-intermediário” e “pinhão-original”. A análise genética desse material mostrou diferenças entre as variedades com relação a vários parâmetros genéticos, tendo-se encontrado diferenças consistentes entre as variedades “ponta-branca” e “são-josé” em relação às demais. No entanto, quando a procedência de Bituruna foi incluída na análise conjunta com outras populações naturais de araucária de Campos do Jordão, SP, Irati, PR e Caçador, SC, notou-se que o efeito de variedades foi menor que o efeito de procedências (Sousa, 2001). Apesar dessas evidências, recomenda-se ampliar a amostragem e utilizar técnicas moleculares mais acuradas para garantir que uma área maior do genoma seja amostrada. Além disso, devido à grande dificuldade de identificar as variedades nas populações naturais, a amostragem, neste caso, foi pequena para algumas variedades. Pelos resultados observados nesse estudo e pelas descrições das diferenças entre elas na literatura, ressalta-se a conveniência de manter essas variedades separadas no campo, para eficácia na conservação.

Os critérios para classificar as variedades têm sido também alvo de questionamentos. De acordo com Stuessy (1990), não se pode atribuir às características intraespecíficas mais comuns, tais como subespécie, variedade e forma, simplesmente pelo período diferenciado na produção de pinhões (Coutinho, 2007). Ademais, variedades encontram-se distribuídas por todos os estados do Sul do Brasil (Reitz; Klein, 1966; Mattos, 1994; Nardin, 2010; Zechini et al., 2012; Adan,

² SOUSA, V. A.; MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Estudo ecológico e genético de *Araucaria angustifolia* como base para um programa de controle dos danos causados pelo macaco-prego aos plantios comerciais de *Pinus* spp.. 2010. 10 f. Não publicado.



2013), não ocorrendo em locais específicos (Adan, 2013). Não há, portanto, delimitação espacial entre os diferentes tipos, dificultando a localização dessas árvores nas populações naturais. As diferenças entre as variedades não podem ser inferidas somente como um efeito ambiental, mas deve-se considerar, também, o polimorfismo genético existente entre elas. Nesse sentido, estudos de expressão gênica e filogenia poderão responder essas questões adequadamente e, consequentemente, subsidiar estratégias de conservação e melhoramento genético da espécie. A aplicação desse conhecimento permitiria, por exemplo, a expansão do período de produção das sementes, para a alimentação humana e também da fauna silvestre, no período de escassez de alimento na Floresta Ombrófila Mista.

Os ecótipos referentes às diferenças morfológicas ou fisiológicas entre plantas de uma mesma espécie e associados a diferentes habitats (Futuyama, 2003) devem também ser considerados no caso da araucária. Devido à extensa área de ocorrência natural da espécie, a probabilidade da existência de ecótipos é maior. No entanto, diferenças morfológicas entre as procedências que possam ser atribuídas ao efeito de um habitat específico não têm sido observadas, apesar do elevado índice de diversidade [Heterosigozidade esperada (H_e) = 0,114 a 0,124; Diferenciação genética entre populações (F_{st}) = 0,13] e do elevado índice de fixação intrapopulacional (f = 0,24) observados nas 31 populações de Santa Catarina estudadas por Montagna et al. (2012) e outros pesquisadores nos estados do Sul e Sudeste (Sousa; Hattemer, 2003; Bittencourt; Sebbenn, 2007; Stefenon, 2007; Roque, 2019; Sousa et al., 2020). Portanto, as variações genéticas presentes nas variedades ainda não foram devidamente esclarecidas. Assim, as denominações de ecótipos e subespécies podem ser descartadas para *A. angustifolia*, prevalecendo o termo procedência e ainda variedade, proposta por Reitz e Klein (1966) e Mattos (1972, 1994).

Em relação aos fatores abióticos (latitude, altitude etc) pequenas variações e, por vezes, resultados opostos, têm sido verificados em trabalhos considerando diferentes procedências (Kageyama; Jacob, 1979; Shimizu; Higa, 1979; Sebbenn et al., 2004; Coutinho, 2007; Coutinho; Dillenburg, 2010). Os trabalhos indicam um crescimento inicial em altura e diâmetro maior para as procedências de maior altitude, bem como uma relação positiva e significativa entre o crescimento e as altitudes das procedências. Porém, isso não foi comprovado na idade adulta e alguns resultados ressaltam o aposto (Kageyama; Jacob, 1979). As plantas de procedências mais próximas ao local do plantio têm apresentado crescimento em altura e diâmetro, bem como raízes laterais, maiores que aquelas mais distantes, nas idades juvenil e adulta (Sebbenn et al., 2004; Coutinho, 2007). Observações de campo relatam que plantas de populações naturais mais adensadas apresentam maior porte que as oriundas de campo aberto e com os galhos em forma de taça (Adan, 2013). Em ambientes com solos rasos podem ser observadas árvores com copa exuberante e altura em torno da metade da altura de uma planta normal (Figura 9). Os resultados, porém, não apontam para a existência de variedades ou raças geográficas para araucária. Desta forma, a caracterização morfológica, com base em características reprodutivas e não reprodutivas associadas à análise genética, é necessária para a identificação das variedades e conservação da diversidade genética da espécie. Já as estratégias de conservação e melhoramento devem ser direcionadas ao atendimento desses aspectos específicos da araucária. Portanto, a conservação genética em coleção ativa das variedades deve levar em consideração a época diferenciada de produção de estróbilos e sementes.



Foto: Ananda Virginia de Aguiar

Figura 9. Indivíduos de araucária com copa exuberante e porte mais baixo devido às condições pedológicas do sítio.

Referências

ADAN, N.; ATCHINSON, J.; REIS, M. S.; PERONI, N. Local knowledge, use and management of ethnovarieties of *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze. in the Plateau of Santa Catarina, Brazil. **Economic Botany**, v. 70, n. 4, p. 353-364, 2016.

ADAN, N. **Uso, manejo, conhecimento local e caracterização morfológica de variedades de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., no planalto serrano catarinense.** 2013. 153 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Patterns of pollen and seed dispersal in a small, fragmented population of the wind-pollinated tree *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. **Heredity**, v. 99, p. 580-591, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6801019>.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 2003. 1039 p.

CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro-do-Paraná.** Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 17 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 60).

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R.; TIEPOLO, G.; PIRES, L. Conservação do bioma floresta com araucária. **Relatório final: Diagnóstico dos Remanescentes Florestais**, v. 1, n. 2, 2001.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 278, de 24 de maio de 2001. Dispõe sobre o corte e a exploração de espécies ameaçadas de extinção da flora da Mata Atlântica. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 jul. 2001.

CORTELETTI, R. Uma estratigrafia da paisagem proto-jê meridional: um estudo de caso em Urubici, SC. **Revista Tempos Acadêmicos**, Dossiê Arqueologia Pré-Histórica, n. 11, 2013.

COUTINHO, A. L. C. **Estudo comparativo do crescimento inicial de plantas obtidas de pinhões de duas procedências e três variedades de pinheiro brasileiro.** 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COUTINHO, A. L.; DILLENBURG, L.R. Comparison of seedling growth among three co-occurring varieties of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze under greenhouse conditions. **Acta Botanica Brasílica**, v. 24, n. 2, p. 567-570, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000200025>.

COZZO, D. Distribución fitogeográfica en la Argentina de *Araucaria araucana* y *A. angustifolia*. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUEP, 1980. p. 1-3.

DANNER, M. A.; RIBEIRO, J. Z.; ZANETTE, F.; BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Impact of monoecy in the genetic structure of a predominately dioecious conifer species, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, n. 5, p. 949-958, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0775-0>.



- ECKENWALDER, J. E. **Conifers of the world**. Portland: Timber Press, 2009.
- ECKENWALDER, J. E. Re-evaluation of Cupressaceae and Taxodiaceae: a proposed merger, **Madrono**, v. 23, p. 237-256, 1976.
- ENRIGHT, N. J.; HILL, R. S. (ed.) **Ecology of the Southern Conifers**. Melbourne: Melbourne University Press, 1995. 342 p.
- ENRIGHT, N. J.; HILL, R. S.; VELEN, T. T. The Southern Conifers: an introduction. In: ENRIGHT N. J., HILL, R. S. (ed.). **Ecology of the Southern Conifers**. Melbourne: Melbourne University Press, 1995. p 1-9.
- ENRIGHT, N. J. The Araucaria forests of New Guinea. In: BIOGEOGRAPHY and Ecology of New Guinea. Dordrecht: Springer, 1982. p. 381-399.
- EVANS, K. **Araucariaceae: the ancient giants that are the world's rarest trees**. Disponível em: <https://news.globallandscapesforum.org/45489/araucariaceae-the-ancient-giants-that-are-the-worlds-rarest-trees>. Acesso em: 20 set. 2020.
- FÄHSER, L. Die Bewirtschaftung der letzten Brasil-Kiefer-Naturwälder, eine entwicklungspolitische Aufgabe. **Forstarchiv**, v. 52, n. 1, p. 22-26, 1981.
- FARJON, A. **A handbook of the world's conifers**. Leiden: Brill, 2010. 2 v.
- FARJON, A. *Araucaria angustifolia*. 2006. In: THE IUCN Red List of threatened species. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/details/32975/0>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- FUTUYAMA, D. A. **A biologia evolutiva**. 2 ed. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2003. 631 p.
- GOLFARI, L. **Coníferas aptas para reflorestamento nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: IBDF, 1971. 71 p. (Brasil florestal. Boletim técnico, 1).
- HERTEL, R. J. G. **Interpretação morfológica de *Araucaria angustifolia***. 1980. 143 f. Tese (Doutorado em Morfologia Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- HUECK, K. **As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica**. São Paulo, SP: Polígono, 1972.
- IBAMA. Instituto Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção**. Brasília, DF, 1992. Disponível em: www.ibama.gov.br/flora/extincao.htm. Acesso em: 22 fev. 2018.
- IMAGUIRE, N. Condições ambientais para a *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze. **Dusenía**, v. 11, n. 3, p. 121-127, 1979.
- KAGEYAMA, P. Y.; JACOB, W. S. Variação genética entre e dentro de populações de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p. 83-86.
- KENDALL, A. Jurassic members of the *Araucariaceae*. **Annals Botany**, v. 13, n. 50, p. 151-161, 1949.
- KERSHAW, A. P.; McGLONE, M. S. The quaternary history of the southern conifers. In: ENRIGHT N. J., HILL, R. S. (ed.). **Ecology of the Southern Conifers**. Melbourne: Melbourne University Press, 1995. p 30-64.
- LAMPRECHT, H. **Silviculture in the tropics: tropical forest ecosystems and their tree species: possibilities and methods for their long-term utilization**. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1989. 296 p.
- LAUTERJUNG, M. B.; BERNARDI, A. P.; MONTAGNA, T.; CANDIDO-RIBEIRO, R.; DA COSTA, N. C. F.; MANTOVANI, A.; DOS REIS, M. S. Phylogeography of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*): integrative evidence for pre-Columbian anthropogenic dispersal. **Tree Genetic Genomes**, v. 14, p. 36, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1250-4>.
- LEDRU, M. P. Late quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. **Quaternary Research**, v. 39, p. 90-98, 1993.
- LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação:. In: IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil II: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p.113-150.



- LOPEZ, J. A.; LITTLE, E. L.; RITZ, G. F.; ROMBOLD, J. S.; HAHN, W. J. **Arboles comunes del Paraguay ñande vyvra mata kuera**. Washington: Cuerpo de Paz, 1987. 425 p.
- MANAUTÉ, J.; JAFFRÉ, T.; VEILLON, J. M.; KRANITZ, M. L. **Revue des Araucariaceae de Nouvelle-Calédonie**. Nouméa: IRD/Province Sud, 2003. 27 p.
- MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2. ed. Lajes: Artes Gráficas Princesa, 1994. 225 p.
- MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 700 p.
- MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1972. 620 p.
- McARTHUR, W. M. **The genus *Araucaria* in its geographical aspects**. Nedlands: Geographical Laboratory, University of Western Australia, 1949. (Research report, 5).
- MEDINA-MACEDO, L.; SEBBENN, A. M.; LACERDA, A. E.; RIBEIRO, J. Z.; SOCCOL, C. R.; BITTENCOURT, J. V. High levels of genetic diversity through pollen flow of the coniferous *Araucaria angustifolia*: a landscape level study in Southern Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-014-0814-1>.
- MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Damage to forest plantations by tufted capuchins (*Sapajus nigritus*): too many monkeys or not enough fruits? **Forest Ecology and Management**, v. 314, p. 9-16, 2014.
- MILL, R. R.; RUHSAM, M.; THOMAS, P. I.; GARDNER, M. F.; HOLLINGSWORTH, P. M. *Araucaria goroensis* (Araucariaceae), a new monkey puzzle from New Caledonia, and nomenclatural notes on *Araucaria muelleri*. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 74, n. 2, p. 123-139, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960428617000014>.
- MONTAGNA, T.; FERREIRA, D. K.; STEINER, F.; DA SILVA, F. A. L. S.; BITTENCOURT, R.; DA SILVA, J. Z.; DOS REIS, M. S. A importância das unidades de conservação na manutenção da diversidade genética de araucária (*Araucaria angustifolia*) no Estado de Santa Catarina. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 18-25, 2012. DOI: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25i%25i.270>.
- NARDIN, C. F. **Demografia da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e recomendações para a exploração sustentável do pinhão no município do Turvo (PR)**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável) - Instituto de Pesquisas Ecológicas, Nazaré Paulista.
- NOGUEIRA, A. C.; SEITZ, R. A. Reação do crescimento radial da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em florestas secundárias. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais [...]**. São Paulo: SBS/SBEF, 1990. v. 3, p. 586-591.
- NTIMA, O. O. **The araucarias**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1968. 139 p. (Fast growing timber trees of the lowland tropics, 3).
- REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariceae**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. (Flora ilustrada catarinense).
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, n. 28-30, p. 3-320, 1978.
- ROQUE, R. H. **Effects of selective logging on genetic diversity of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze**. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Unicentro, Irati.
- RUHSAM, M.; CLARK, A.; FINGER, A.; WULFF, A. S.; MILL, R. R.; THOMAS, P. I.; GARDNER, M. F.; GAUDEUL, M.; ENNOS, R. A.; HOLLINGSWORTH, P. M. Hidden in plain view: cryptic diversity in the emblematic *Araucaria* of New Caledonia. **American Journal of Botany**, v. 103, n. 5, p. 888-898, 2016.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; FREITAS, S. A.; FREITAS, J. A. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 16, n. 2, p. 91-99, 2004.
- SHIBATA, M.; COELHO, C. M.; ARALDI, C. G.; ADAN, N.; PERONI, N. Physiological and physical quality of local *Araucaria angustifolia* seed variety. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 2, p. 249-256, 2016.
- SHIMIZU, J. Y.; HIGA, A. R. Variação genética entre procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região de Itapeva-SP, estimada até o 6º ano de idade. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p. 78-82.



SHIMIZU, J. Y.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Distribuição, variação e usos dos recursos genéticos da *Araucaria* no Sul do Brasil**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. 9 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 4).

SOARES, J. C.; AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A. Descritores morfológicos para variedades de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 16., 2017, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. p. 45. (Embrapa Florestas. Documentos, 307).

SOUSA, V. A. **Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2001. 161 f. Thesis (PhD) - Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen, Göttingen.

SOUSA, V. A.; HATTEMER, H. H. Pollen dispersal and gene flow by pollen in *Araucaria angustifolia*. **Australian Journal of Botany**, v. 51, p. 309-317, 2003.

SOUSA, V. A.; MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. **Estudo ecológico e genético de *Araucaria angustifolia* como base para um programa de controle dos danos causados pelo macaco-prego aos plantios comerciais de *Pinus* spp.** 2010c. 10 f. Relatório de Projeto, não publicado.

SOUSA, V. A.; REEVES, P. A.; REILLEY, A.; AGUIAR, A. V. de; STEFENON, V. M.; RICHARDS, C. M. Genetic diversity and biogeographic determinants of population structure in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Conservation Genetics**, v. 21, p. 217-229, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-019-01242-9>.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. The role of gene flow in shaping genetic structures of the subtropical conifer species *Araucaria angustifolia*. **Plant Biology**, v. 10, p. 356-364, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00048.x>.

STEFENON, V. M. **The distribution of the genetic diversity in *Araucaria angustifolia* and its implications for the genetic conservation of the species 'genetic resources**. 2007. 120 f. Thesis (PhD) - Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen, Göttingen.

STOCKEY, R. A.; KO, H. Cuticle micromorphology of *Araucaria* de Jussieu. **Botanical Gazette**, v. 147, n. 4, p. 508-548, 1986.

STOCKEY, R. A. The Araucariaceae: an evolutionary perspective. **Review Paleobotany and Palynology**, v. 37, p. 133-154, 1982. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(82\)90041-0](https://doi.org/10.1016/0034-6667(82)90041-0).

STUESSY, T. F. **Plant taxonomy: the systematic evaluation of comparative data**. Columbia, Columbia: Columbia University Press, 1990. 514 p.

TAGLIARI, M. S. M. **Etnoecologia e estrutura populacional de *Araucaria angustifolia* (bert.) o. ktze no sul do Brasil**: subsídios de uso e manejo sustentável de recursos. 2013. 112 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina em Ciências Biológicas, Florianópolis.

TAGLIARI, M. S. M.; PERONI, N. Variedades locais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Pinales: Araucariaceae) no sul do Brasil: uma breve discussão sobre domesticação de paisagens. **Biotemas**, v. 3, n. 3, p. 59-68, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2018v31n3p59>.

VAN DER HAM, R. W. J. M.; JAGT, J. W. M.; RENKENS, J.; VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT, J. H. A. Seed cone scales from the upper Maastrichtian document the last occurrence in Europe of the southern hemisphere conifer family Araucariaceae. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 291, p. 469-473, 2010.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 123 p.

WREGE, M. S.; FITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A.; SOUSA, L. P.; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V.; GOMES, J. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 7, p. 31-346, 2017.

ZECHINI, A. A. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética**: subsídios para conservação da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no planalto catarinense. 2012. 193 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ZECHINI, A. A.; SCHUSSLER, G.; SILVA, J. Z.; MATTOS, A. G.; PERONI, N.; MONTOVANI, A.; REIS, M. S. Produção, comercialização e identificação de variedades de pinhão no entorno da Floresta Nacional de Três Barras – SC. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 74-82, 2012. DOI: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.275>.

ZONNEVELD, B. J. M. Genome sizes of all 19 Araucaria species are correlated with their geographical distribution. **Plant Systematics and Evolution**, v. 298, n. 7, p. 1249-1255, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-012-0631-7>.



4

A distribuição natural das Florestas com Araucária nos estados do Sul e São Paulo: localização, clima e relevo

Elenice Fritzsos
Luiz Eduardo Mantovani
Marcos Silveira Wrege

Introdução

A Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como Floresta com Araucária, ou mata-de-arauucária ou pinheiral (IBGE, 2012), predomina no Planalto Meridional da Região Sul do Brasil, acima de 500 metros de altitude e compreende uma área de cerca de 250 mil km² distribuída, principalmente, no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Carvalho, 2011). A FOM, de acordo com Leite e Klein (1990), é uma das fitofisionomias que compõem o bioma Mata Atlântica, sendo uma floresta típica das terras altas do Sul do Brasil. A FOM também é considerada um *hotspot* (IBGE, 2012) por apresentar grande diversidade biológica, ser rica em espécies endêmicas e suas espécies estarem sujeitas a ameaças devido a ações antrópicas, sendo que evidências de sua degradação podem ser observadas nos remanescentes dessa tipologia (Liebsch et al., 2016).

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze, araucária ou pinheiro-do-paraná, é uma espécie nativa e característica do ecossistema da FOM, sendo, certamente, o principal componente fitofisionômico da Floresta Ombrófila Mista (Mantovani et al., 2004). Apesar disso, nem todo fragmento de FOM contém indivíduos da espécie e nem toda araucária ocorre, necessariamente, na FOM, como é o caso, por exemplo, da presença da araucária na Floresta Estacional da Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul (Carlucci et al., 2011). Além disso, como afirmou Klein (1960), a formação da “Mata de Pinheiro” não é homogênea e contínua, mas composta por formações vegetais com múltiplas associações e agrupamentos que variam de acordo com o estágio de sucessão.

Apesar dessas considerações, nesse capítulo abordar-se-á a FOM como sempre estando associada à presença da araucária e vice-versa. A propósito, ressalta-se que o nome correto desta é Floresta com Araucária e não Floresta de Araucária. Isto pode ser justificado pelo fato de que nos neotrópicos não existem florestas de coníferas, mas sim florestas com coníferas, sendo mais heterogêneas quanto mais se aproximam dos limites de contato com as formações de procedência tropical (Backes, 1999).

A exploração da araucária começou no início do século XIX, acentuando-se no século XX (Carvalho, 2011), o que a levou a ser incluída na categoria criticamente em perigo, em nível global (Thomas, 2013). Apesar de, atualmente, estarem protegidas por lei, com sérias restrições ao corte, uma nova ameaça à preservação das populações de araucária, e à FOM, são as mudanças climáticas e, em especial, o aquecimento global, pois o fato de a araucária estar adaptada a locais mais frios e úmidos deverá restringir ainda mais sua área de ocorrência no futuro (Wrege et al., 2009).

Para conservar a araucária é fundamental conhecer sua autoecologia (Puchalski et al., 2006) que depende, fortemente, do clima e, principalmente, do conjunto formado pela temperatura e precipitação pluvial, que determina a disponibilidade de água no sistema (Thorntwaite, 1948). Desta forma, o clima assume papel fundamental na distribuição das espécies e na delimitação das diferentes tipologias florestais no mundo (Oliveira-Filho et al., 2015).

Neste capítulo são apresentados os avanços do conhecimento resultantes de estudos sobre as condições climáticas relacionadas à Floresta com Araucária, resumidos em uma síntese feita a partir de diversos trabalhos (Wrege et al., 2016; Fritzsos et al., 2017, 2018a, 2018b, 2018c), desenvolvidos no projeto Araucamate pela Embrapa Florestas, um projeto voltado ao uso e conservação da araucária e da erva-mate.

Inicialmente, foi descrita a geologia das áreas de domínio de ocorrência da FOM nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo esta informação muito importante, pois litologias e estruturas geológicas condicionam a formação de topossequências de solos e a conformação do relevo. Para identificar as áreas de domínio da FOM foram examinados mapas



fitogeográficos e informações fornecidas por Golfari et al. (1978), Mattos (1994), Kronka (2005), Maack (1950), Roderjan et al. (2002) e Carpanezzi et al. (1988). Para o Rio Grande do Sul, além de mapas de vegetação, a presença da araucária foi complementada com o registro de coordenadas geográficas relacionadas às observações feitas das árvores nativas presentes na Serra do Sudeste, levantadas no campo, no Projeto Araucamate.

A caracterização climática foi feita a partir dos dados das estações meteorológicas associados aos mapas de vegetação. Foram separadas as estações que pertenciam às áreas naturais da FOM em cada estado (Figura 1) e seus dados foram comparados aos de outras regiões, onde não havia esta tipologia florestal.

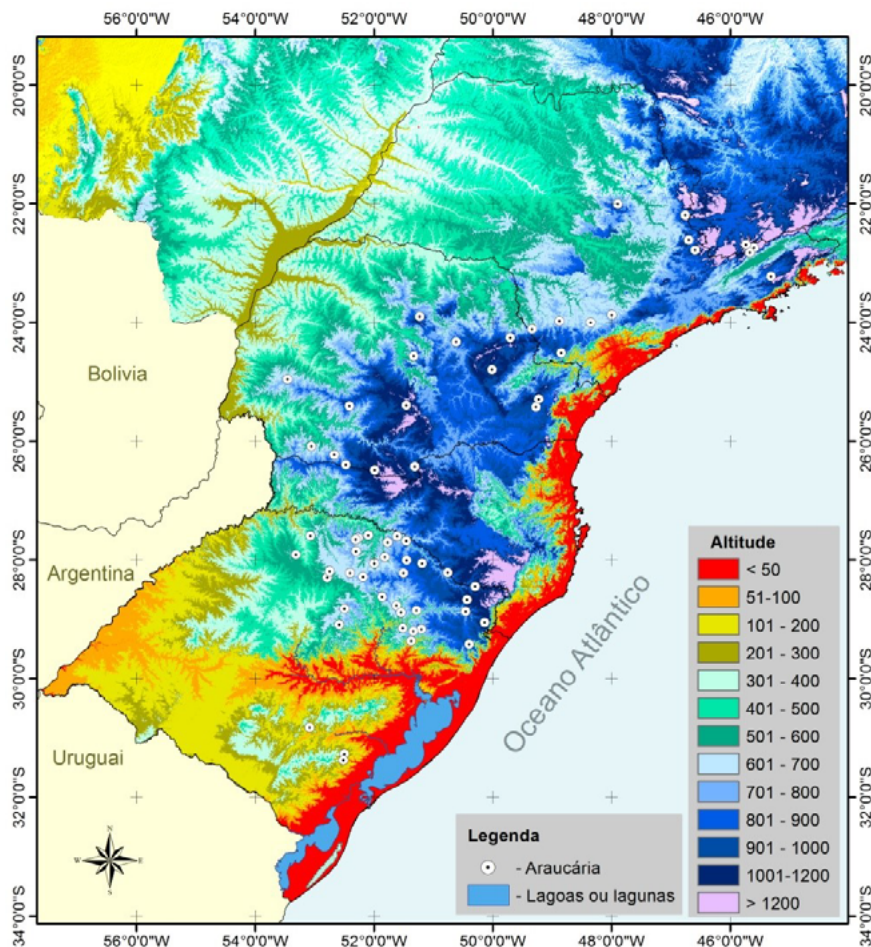


Figura 1. Mapa hipsométrico com a localização de estações meteorológicas utilizadas nos levantamentos das áreas de Floresta com Araucária.

Utilizaram-se as normais climatológicas com 30 anos de histórico, de acordo com o recomendado pelas normas internacionais da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Para Santa Catarina e Rio Grande do Sul, foram utilizadas as informações presentes no Atlas Climático da Região Sul do Brasil (Wrege et al., 2011); para São Paulo, do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e para o Paraná, do Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar).



Os dados foram organizados, consistidos e submetidos às análises estatísticas, com o objetivo de encontrar diferenças climáticas significativas entre as áreas ocupadas pela FOM e as demais áreas com outros tipos de uso e ocupação da terra. Além disso, foram registrados os valores médios das variáveis climáticas, nas regiões de ocorrência, para cada um dos quatro estados avaliados. Estas informações são importantes para registrar as características climáticas preferenciais da araucária no presente, e garantir sua existência, no futuro, considerando as mudanças climáticas globais.

Ocorrência da Floresta com Araucária ou FOM – aspectos geográficos e geomorfológicos

A Floresta com Araucária se distribui nos estados do Sul do Brasil e também no Sudeste, em São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais. O limite para a expansão da FOM ao norte é o clima tropical, onde sua presença só é mantida onde os limites térmicos são condicionados pelo relevo, como as altitudes elevadas. Contudo, à medida que as condições de sítio se tornam menos favoráveis (como ocorrência de fogo, geadas, baixas temperaturas e maior elevação do terreno), as espécies tropicais latifoliadas perdem progressivamente seu poder competitivo, deixando espaço para a araucária (Castro, 2015).

A distribuição da FOM no estado de São Paulo é bastante fragmentada, ao contrário do que ocorre no Paraná, Santa Catarina e, parcialmente, no Rio Grande do Sul, embora seja semelhante ao que ocorre no Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais. Assim, neste estado, a Floresta com Araucária ocorre naturalmente em altitudes elevadas ao norte da capital e em áreas de tensão ecológica com a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Densa, no leste do estado, bem como em refúgios na Serra do Mar e na Serra da Mantiqueira. A distribuição geográfica da Floresta com Araucária no estado, por ser fragmentada, contribui para a ocorrência de raças locais ou ecótipos (Reitz; Klein, 1966).

No sul do estado de São Paulo, essas florestas surgem no reverso planáltico da Serra do Paranapiacaba, a partir de Capão Bonito, SP, prolongando-se pela região de Itapeva, Itararé e Apiaí, adentrando o estado do Paraná. Há também algumas ocorrências pontuais a oeste, sobre o Planalto da Serra Geral, nas proximidades mais elevadas do reverso da Cuesta de Botucatu, em Botucatu, entre altitudes de 750 m e 900 m, assim como em São Carlos em cotas mais elevadas (entre 800 m e 960 m). Ambas as áreas apresentam clima tropical de altitude, com invernos secos.

Já ao leste, na região do Vale do Paraíba, nas encostas da Serra do Quebra Cangalha, situada ao norte do Trópico de Capricórnio, as ocorrências vão se adensando conforme a elevação altimétrica. O relevo desta região foi classificado por “mares de morros” (Ab’Sáber, 1966), devido à presença de colinas e morros convexos. São Luiz de Paraitinga, situada na calha do rio Paraitinga apresenta altitude de 760 m e está sob influência das serranias mais elevadas do Alto Vale do Paraíba e do efeito de brisa do mar do Atlântico. Nessa região, ladeando a bacia do rio Paraíba ao sudeste, o *horst* (bloco alongado de território e elevado em relação à depressão central vizinha por ação de distensão tectônica), pertencente ao denominado grande *rift* do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004), dá lugar às formações mais típicas da FOM que ocorrem nas elevações superiores dos Campos de Cunha, no Planalto de Paraitinga (vide Hiruma et al., 2010), entre 850 m e 1.200 m e na Serra da Bocaina entre 1.200 m e 2.000 m.



A Serra da Bocaina constitui um tipo de superfície planáltica, elevando-se até 2.070 m de altitude. Segundo os estudos termocronológicos de Hiruma et al. (2010), as superfícies planálticas de Campos do Jordão na Serra da Mantiqueira, *horst* ao noroeste, e da Bocaina têm se mantido topograficamente elevadas desde o Período Paleógeno. Assim, pode-se deduzir que, possivelmente, essas áreas serviram de “refúgio ecológico” para a araucária, face às diversas fases climáticas pretéritas mais cálidas que se sucederam, desde o início da Era Cenozóica. Resultado semelhante em termos de refúgio para o Pleistoceno e Holoceno pode ser deduzido a partir dos dados de Behling (2007) obtidos na Serra da Bocaina, por meio da paleopalinologia. As conclusões de Hiruma et al. (2010) de que a Serra da Bocaina se comportou como área soerguida, porém sob baixas taxas de denudação do terreno, a partir da ruptura do continente do Gondwana, iniciada há 135 milhões de anos poderia ser, em parte, explicada pela proteção exercida pela densa cobertura florestal sob clima mais ameno.

Tudo isso seria compatível com a presença da FOM e as formações que a precederam, mantendo as araucárias no estrato dominante ao longo de todo esse tempo. Nessas superfícies planálticas da Serra da Bocaina, entrecortadas de elevações na amplitude altimétrica, se verifica um escalonamento da distribuição de araucárias. Assim, as maiores densidades de pinheiros da FOM se encontram nos terços inferiores das vertentes e nos fundos de vale, enquanto os topos das elevações, interflúvios e ombreiras apresentam, muitas vezes, um revestimento de estrato herbáceo.

Esse padrão também pode ser observado no denominado Primeiro Planalto Paranaense, no qual se situa a capital Curitiba. Pode-se atribuir esse tipo de desenvolvimento de paisagem à maior frequência de geadas nas baixadas, por inversão térmica provocada por irradiação noturna, durante noites com ausência de nuvens, temperatura do ponto de orvalho abaixo 0 °C, e velocidade do vento em superfície menor que 2 m/s (Cook, 2009, National Weather Service, 2019). Deve-se considerar que as baixas vertentes e calhas fluviais oferecem uma maior disponibilidade hídrica, o que acelera o crescimento de araucárias (Fernandéz, 1989). Por outro lado, a manutenção da umidade nas camadas superiores do solo, ao longo de todo o ano, representa um obstáculo à propagação de queimadas, praticadas por grupos indígenas antes da chegada de colonizadores europeus (Mantovani et al., 2003).

Com efeito, nas regiões citadas, ao contrário do que acontece no Planalto Catarinense, a quase totalidade de geadas ocorre sob regime de inversão térmica, que resulta em menores temperaturas sobre as concavidades do terreno. Além disso, os solos dos locais mais altos e inclinados tendem a ser mais rasos e rochosos, o que dificulta o desenvolvimento de espécies arbóreas. Já em locais de solos mais profundos podem comparecer os típicos capões de mata com a presença das araucárias. O Paraná, dentre os estados da região Sul, era o que possuía maior cobertura das Florestas com Araucária (quase 50%), ou 46% do território (Serviço Florestal Brasileiro, 2018), comparado ao percentual de 30% em Santa Catarina e de 25% no Rio Grande do Sul (Campos; Silveira Filho, 2010). As áreas de ocorrência da Floresta com Araucária se localizam ao sul e na zona de transição do sul para o centro-norte e no sudoeste do Paraná.

O estado de Santa Catarina era, originalmente, todo coberto pelo bioma Mata Atlântica e a FOM ocupava 43% do seu território, de acordo com Klein (1978). Hoje, apenas 5% dos fragmentos poderiam ser considerados, em parte, primários, de acordo com o Inventário Florístico de Santa Catarina (Vibrans et al., 2012). Em Santa Catarina as regiões mais favoráveis à ocorrência da araucária encontram-se, principalmente, na porção central e oeste do estado, ou seja, no planalto paleozóico e planalto arenito-basáltico, sendo excluídas as áreas da baixada litorânea e a Serra do Mar. A exclusão se justifica, pois a porção da vertente do Atlântico, a partir da Serra Catarinense,



sendo bastante quente e úmida, especialmente no verão, favorece o desenvolvimento de outras formações florestais, com espécies folhosas de crescimento mais rápido que a araucária. A maior pluviosidade da região proporciona umidade quase idêntica a das florestas equatoriais, isto é, próxima à temperatura do ponto de orvalho durante grande parte do dia (Klein, 1975).

Desta forma, diversos estudos indicam que o clima é fator preponderante que condiciona a presença da Floresta com Araucária num determinado local. Entretanto, Fonseca et al. (2009), Rambo (1951) e Veblen (1982) sugerem que a distribuição natural da Floresta com Araucária não ocorre diretamente em função de condicionamentos ambientais como os climáticos, por exemplo, mas sim pela baixa competitividade da araucária frente às espécies latifoliadas tropicais. Veblen (1982) afirma que a evidência de que a araucária está no status de relicto, ou seja, de espécie que se encontra em retrogressão, pode ser melhor interpretada como uma resposta evolucionária da espécie em competição com outras espécies de árvores, em habitats que variam em estabilidade e estresse.

A Floresta com Araucária no Rio Grande do Sul ocorre na porção nordeste do Planalto Meridional (Serra do Nordeste) e na Serra do Sudeste (Escudo Sul Riograndense). Na Serra do Nordeste, parte meridional da longa feição da Serra Geral assentada sobre rochas basálticas, ocorre neve com frequência quase anual, entre as altitudes de 900 m a 1.400 m. Nos “Campos de Cima da Serra”, localizados no extremo nordeste do estado, em altitudes entre 900 m a 1.200 m, divisa com Santa Catarina, estão os municípios mais frios do País, juntamente com os localizados em Santa Catarina. As derivações mais ácidas do magmatismo basáltico tendem a sustentar os compartimentos mais elevados do planalto, tal como ocorre na Serra do Nordeste do Planalto Meridional. Todo o estado está sujeito a fortes geadas, que são mais comuns nas regiões de maiores altitudes, ocorrendo com menor frequência na Depressão Central e no Vale do Uruguai (Wrege et al., 2018).

A Serra do Sudeste, que faz parte do escudo cristalino Rio Grandense formado por rochas metamórficas e ígneas de idade pré-cambriana, se estende entre as latitudes 30° S e 32° S e alcança altitudes de até 550 m. Reitz et al. (1983) consideram que o limite sul da Floresta com Araucária está nesta serra, especificamente em Canguçu, a cerca de 31° de latitude Sul. Backes (1999) e Dutra e Stranz (2003) também indicam que os núcleos de Floresta com Araucária da Serra do Sudeste são pequenos, embora importantes fitogeograficamente. Registros recentes relatam a presença de pinheiros nativos em Cerro Largo no Uruguai (Arballo, 2019), na porção oeste daquele país, na fronteira com o Brasil, podendo tratar-se de uma população isolada, relacionada àquelas da Serra do Sudeste no Rio Grande do Sul.

Assim, verifica-se que, no Sul e Sudeste do Brasil, a Floresta com Araucária está presente tanto na Bacia Sedimentar do Paraná quanto nos blocos tectônicos componentes do embasamento cristalino. Desenvolve-se sobre solos formados a partir de litologias muito diferentes do ponto de vista petrográfico e mineralógico, tanto rochas ígneas básicas como basaltos, quanto ácidas, como granitos e riolitos. A floresta ocorre sobre solos eutróficos e outros ricos em alumínio trocável, desenvolvidos a partir de rochas ígneas alcalinas, tal como nos maciços alcalinos de Itatiaia (RJ) e Passa Quatro (MG), na Serra da Mantiqueira, e no Domo de Lages em Santa Catarina. Ocorre também sobre solos permeáveis formados sobre rochas sedimentares, que vão desde conglomerados e arenitos até folhelhos e siltitos que dão origem aos solos pouco permeáveis. Incluem-se, também, neste elenco de solos, aqueles formados sobre calcários e rochas metassedimentares, tais como mármore, dolomíticos ou não.

Sobre estas formações os solos podem, também, variar muito, desde Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Regolíticos, que se caracterizam pela pequena profundidade de perfil, até Latossolos,



Argissolos, Nitossolos, Neossolos Flúvicos e vários tipos de Cambissolos, que tendem a ter perfis mais desenvolvidos (Santos et al., 2011).

Desta forma, a Floresta com Araucária se distribui em amplas condições ambientais, ocorrendo em diversas condições geológicas, pedológicas, geomorfológicas e climáticas, embora sua presença seja definida, sobretudo, por condições climáticas (Klein, 1960; Puchalski et al., 2006).

Ocorrência da Floresta com Araucária ou FOM – aspectos climáticos

Nas regiões da Floresta com Araucária, no estado de São Paulo, a temperatura média do ar é dois a três graus menor em todas as estações do ano, em relação à média geral do estado, considerando todos os pontos onde essa tipologia não ocorre, como já mencionado anteriormente. A temperatura média anual das regiões de ocorrência dessas florestas é 19,8 °C, a média de inverno é 15,2 °C e a média de verão é 22,5 °C (Tabela 1).

A altitude média das áreas com a Floresta com Araucária no estado é 902 m e varia de 700 m (municípios paulistas de Itapeva e Capão Bonito) a 1.620 m (Campos do Jordão, SP) e a mais de 2.000 m na Serra da Bocaina. Itapeva e Capão Bonito estão situados em latitudes maiores comparadas às de Campos do Jordão que, no entanto, apresenta altitudes mais elevadas (Tabela 1).

De modo geral, as altitudes mais elevadas são favorecidas com as precipitações pluviométricas no inverno e na primavera, por indução de chuvas orográficas, que aumentam a umidade relativa do ar. Entretanto, para o estado de São Paulo, apesar de as araucárias se situarem nas altitudes mais elevadas, não foi possível evidenciar diferenças significativas entre os volumes precipitados nas regiões da Floresta com Araucária e os volumes observados em outras tipologias. A precipitação pluviométrica anual acumulada das áreas da Floresta com Araucária foi, na média, 1.467 mm e, para as demais regiões, foi 1.392 mm (Tabela 1).

No Paraná, da mesma forma como ocorre em São Paulo, todas as temperaturas (média anual de janeiro e de junho) são significativamente menores nas regiões onde há a presença de araucária. A temperatura média do ar é 3 a 4 graus menor em todas as estações do ano, sendo a média anual das áreas com ocorrência natural de araucária de 17,9 °C, a média de julho de 13,6 °C e a média de janeiro de 21,5 °C (Tabela 1).

Para este Estado, quanto à precipitação pluviométrica, tanto para a acumulada em um ano como para a acumulada no verão, não foram verificadas, na média, diferenças entre as áreas de Floresta com Araucária e as demais áreas, assim como ocorreu em São Paulo, embora os valores no inverno tenham sido maiores onde há presença de araucária (Tabela 1). Nas zonas com araucária neste estado, o menor valor de precipitação acumulada no ano encontra-se no município de Jaguariaíva (1.396 mm) e a maior no município de Palmas (2.002 mm), ou seja, valores situados no intervalo indicados por Golfari et al. (1978). Os valores obtidos também corroboram os resultados de um estudo realizado na FOM, no estado do Paraná (Bertoldo et al., 2014), em que os autores afirmaram que “esses táxons” não toleram médias pluviométricas inferiores a 1.400 mm ano⁻¹, sendo muito seletivos em relação à temperatura e à umidade.



Tabela 1. Valores médios para variáveis climáticas para as áreas com a Floresta com Araucária (FA) e outras áreas com outros usos e ocupação das terras para os estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

	Variáveis	Outras áreas	Florestas com Araucária
São Paulo	Altitude (m) ⁽¹⁾	554,00	902,00
	Temperatura na primavera (°C) ⁽¹⁾	22,80	19,80
	Temperatura no verão (°C) ⁽¹⁾	24,50	22,10
	Temperatura no outono (°C) ⁽¹⁾	23,50	19,50
	Temperatura no inverno (°C) ⁽¹⁾	19,20	16,20
	Precipitação total na primavera (mm)	336,00	361,00
	Precipitação total no verão (mm)	636,00	655,00
	Precipitação total no outono (mm)	306,00	308,00
	Precipitação total no inverno (mm)	114,00	143,00
Paraná	Altitude (m) ⁽¹⁾	512,00	824,00
	Temperatura média anual (°C) ⁽¹⁾	21,13	17,90
	Temperatura média de julho (°C) ⁽¹⁾	16,74	13,60
	Temperatura média de janeiro (°C) ⁽¹⁾	24,40	21,50
	Umidade relativa (%) ⁽¹⁾	72,00	77,00
	Precipitação total (mm)	1.598,00	1.734,00
	Precipitação verão (mm)	540,00	525,00
	Precipitação inverno (mm) ⁽¹⁾	241,00	323,00
	Precipitação-evaporação (mm) ⁽¹⁾	389,00	851,00
Evaporação (mm) ⁽¹⁾	1.209,00	883,00	
Insolação (Hs) ⁽¹⁾	2.426,00	2.202,00	
Santa Catarina	Altitude (m) ⁽¹⁾	176,00	895,00
	Temperatura média anual (°C) ⁽¹⁾	19,70	16,50
	Temperatura média julho (°C) ⁽¹⁾	14,90	11,90
	Temperatura média janeiro (°C) ⁽¹⁾	24,00	21,00
	Precipitação total anual (mm) ⁽¹⁾	1.659,00	1.767,00
	Precipitação verão (mm) ⁽¹⁾	551,00	507,00
	Precipitação inverno (mm) ⁽¹⁾	314,00	407,00
	Disponibilidade hídrica anual (mm) ⁽¹⁾	746,00	975,00
	Evaporação (mm) ⁽¹⁾	913,00	792,00
	Insolação média mensal (horas)	154,00	170,00
	Insolação média mensal verão (horas)	167,00	186,00
	Insolação média mensal inverno (horas)	153,00	157,00
Rio Grande do Sul	Altitude (m) ⁽¹⁾	414,00	690,00
	Temperatura média anual (°C) ⁽¹⁾	18,34	16,90
	Risco de geada (%) ⁽¹⁾	0,59	0,72
	Precipitação total anual (mm)	1.775,00	1.732,00
	Precipitação de verão (mm)	432,00	450,00
	Precipitação de inverno (mm)	432,00	432,00
	Disponibilidade hídrica verão (mm) ⁽¹⁾	75,00	128,00
	Disponibilidade hídrica inverno (mm)	325,00	325,00
	Evaporação verão (mm)	357,00	322,00
	Evaporação inverno (mm)	107,00	107,00
	Insolação verão (horas) ⁽¹⁾	234,00	216,00
	Insolação inverno (horas)	160,00	159,00
	Umidade relativa verão (%) ⁽¹⁾	74,00	76,00
Umidade relativa inverno (%)	79,00	79,00	

⁽¹⁾Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Fritzsons et al. (2017, 2018a, 2018b).



Comparativamente, nas áreas de Floresta com Araucária, na média, para o Paraná, a insolação é significativamente menor, o que exerce influência na disponibilidade hídrica, ou seja, na diferença entre o volume de água que precipita e ingressa no sistema solo-planta e o volume de água que é evapotranspirado (ETP) e passa do sistema solo-planta para a atmosfera. O saldo P-ETP é maior onde as araucárias ocorrem. Assim, para o Paraná, apesar de a precipitação pluviométrica total anual ser igual entre as áreas com e sem Floresta com Araucária, há menor evapotranspiração (e maior umidade relativa) nas regiões onde há a presença da araucária.

A menor evapotranspiração também é consequência da maior nebulosidade e menor temperatura. As regiões da Floresta com Araucária se diferenciaram das outras áreas quanto à nebulosidade, que é maior, o que corrobora as observações de Oliveira-Filho et al. (2015) sobre a relação entre a distribuição da araucária e a nebulosidade.

A altitude média é mais elevada onde há presença da Floresta com Araucária no Paraná, porém em altitudes menores quando comparadas às altitudes de São Paulo. Na amostragem realizada neste estudo, a araucária ocorre, naturalmente, desde 516 m em Telêmaco Borba até 1.340 m, em Palmas, PR.

Para Santa Catarina, a temperatura média mensal é 16,5 °C, 19,6 °C para o mês de janeiro (mês mais quente) e 11,9 °C para julho (o mês mais frio) (Tabela 1), sendo todas as temperaturas menores para as áreas de Florestas com Araucária. As temperaturas médias mais baixas e maior frequência de geadas estão relacionadas com as áreas da FOM (Uhlmann et al., 2012).

Leite (1994), Veloso et al. (1991) e Sevegnani et al. (2016) afirmaram que a isoterma de 16 °C está relacionada com altimetrias equivalentes a 750 m e 1.000 m e indica o início da faixa de ocorrência da FOM para Santa Catarina. Neste trabalho, a altitude das regiões da Floresta com Araucária variou entre 454 m, no município de Agrolândia (microrregião de Rio do Sul) a 1.407 m, em São Joaquim, sendo a altitude média situada em 895 metros. Backes (1999) e Reitz e Klein (1966) indicaram a altitude da FOM entre 500 m e 1.800 m para Santa Catarina, o que corrobora os dados registrados, embora altitudes superiores (1.800 m) possam ser encontradas numa amostragem com maior número de pontos de localização.

A precipitação pluviométrica anual acumulada encontrada nas áreas da FOM situa-se, na média, em 1.767 mm, estando dentro da faixa de 1.500 mm a 2.100 mm, estabelecida por Nimer (1979), Pandolfo et al. (2002) e Wrege et al. (2011), para as áreas da FOM em Santa Catarina. Puchalski et al. (2006) encontraram valores entre 1.400 mm e 1.900 mm para nove locais distintos de ocorrência natural de FOM naquele estado. A precipitação pluviométrica total anual e a de julho são maiores, mas o valor total de verão é menor, evidenciando que a FOM ocorre em regiões tendendo a um clima mais temperado. A disponibilidade hídrica é maior, considerando o ano todo, o que resulta em maior oferta hídrica, especialmente no inverno.

Comparativamente, a evapotranspiração anual acumulada foi, na média, 792 mm, sendo menor para a região da Floresta com Araucária em Santa Catarina, mesmo considerando valores médios de verão (298 mm) e de inverno (110 mm). A insolação média mensal (inverno e verão) e anual, ao contrário do que ocorre no estado do Paraná, não apresentou diferenças significativas entre as áreas com e sem Floresta com Araucária, embora resultados diferentes possam ser obtidos intensificando-se a amostragem.

No Rio Grande do Sul, a Floresta com Araucária ocorre nas Serras do Nordeste e do Sudeste. A temperatura média anual está entre 15 °C e 18 °C e com valor médio de 17 °C (Tabela 1). A média das temperaturas mínimas de inverno situa-se entre 6,5 °C e 9,3 °C, com valor médio de 8,2 °C e a



média das temperaturas máximas de verão entre 24,6 °C e 28,5 °C, com média de 27 °C. O risco de geada é maior, com 72% de chance de ocorrência nas áreas da Floresta com Araucária, comparado a 59% para as outras áreas no estado. Isto significa que, a cada dez anos, em sete há ocorrência de geadas, enquanto nas outras áreas as geadas ocorrem a cada seis anos (Wrege et al., 2018).

Nas áreas de Floresta com Araucária, a precipitação pluviométrica varia de 1.500 a 1.900 mm, com média de 1.732 mm, situando-se numa faixa intermediária para o estado, que varia de 1.200-1.300 a 2.300-2.400 mm (Wrege et al., 2011). Assim, as áreas da FOM não se diferenciam, em termos de pluviometria, das outras áreas. Isto é válido para a média anual total, de verão e de inverno.

A umidade relativa do ar no verão é 76%. No estado do Rio Grande do Sul, entre a região mais seca e a mais úmida, ocorrem variações entre 64% a 88% na umidade relativa média do verão. O valor médio mensal de insolação no verão, nas áreas da Floresta com Araucária, é menor (216 h) quando comparado ao de áreas sem ocorrência da tipologia (234 h). Nesse mesmo estado, os valores variam entre 160 h e 270 h (Wrege et al., 2011).

Na Serra do Sudeste, a presença da araucária está relacionada com um clima tendendo ao temperado onde, no verão, o fotoperíodo é maior, repercutindo em maiores valores de insolação e evapotranspiração nesta estação. Nos mapas de vegetação do Rio Grande do Sul (e.g. Hasenack et al., 2010), esta área pertence à Floresta Estacional e não à FOM. Uma discussão sobre a presença das araucárias na Serra do Sudeste encontra-se no trabalho de Carlucci et al. (2011). A evaporação média no verão é maior nas áreas sem Floresta com Araucária (322 mm contra 357 mm).

Nas áreas mais elevadas da Serra do Sudeste, tipo de planalto dissecado do sudeste gaúcho, a altitude menor pode ser compensada pela maior latitude, pois a araucária ocorre nos municípios de Santana da Boa Vista, Canguçu e Pelotas, em altitudes de 239 m, 291 m e 369 m, respectivamente. Estas constituem as menores altitudes encontradas para toda a distribuição da araucária no Brasil. Já a maior altitude observada com presença de FOM no estado foi 1.053 m, na Serra do Nordeste.

Aspectos climáticos e comparação entre os estados

Analisando-se as informações obtidas, verifica-se que a Floresta com Araucária sempre ocorre em áreas de maior altitude, que também são as mais frias. A temperatura normalmente decresce com a elevação da altitude em uma proporção de, aproximadamente, 1 °C/100 m (gradiente adiabático do ar seco). Como o gradiente térmico médio depende, também, da umidade relativa do ar, decrescendo quando o ar começa a se saturar por liberação de calor latente de condensação, o decréscimo da temperatura média com a altitude se reduz até em torno de 1 °C a cada 180 metros (Dury, 1972).

A influência da altitude sobre o clima é bastante complexa, pois, além de gerar gradientes térmicos e eventos de geada, afeta igualmente a pressão atmosférica, reduzindo-a e provocando o aumento da radiação solar, da nebulosidade e da precipitação pluvial (Jones, 1992). Nas regiões mais frias há maior ocorrência de geadas e, segundo Wrege et al. (2016), esse fenômeno é determinante na distribuição de *A. angustifolia*. A umidade também é um fator importante, evidenciando-se uma estreita relação entre maior oferta hídrica e o crescimento da araucária (Fernández, 1989). Golfari et al. (1978) afirmam que a araucária não tolera condições de seca e que as precipitações pluviométricas favoráveis estão na faixa entre 1.250 mm e 2.000 mm, podendo haver secas periódicas desde que não ocorram no inverno.

Pulchaski et al. (2026) observam que nas condições de clima com verão quente (Cfa) não se encontram populações naturais da espécie, pois o crescimento de outras espécies que apresentam



maior regeneração e crescimento mais vigoroso é favorecido, o que determina uma condição de competição desfavorável à araucária

Assim, conclui-se que uma das variáveis climáticas mais importantes para a Floresta com Araucária é a disponibilidade hídrica, ou seja, o balanço positivo entre a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração. As altas temperaturas, geralmente, estão associadas com elevado potencial de evapotranspiração. Desta forma, mesmo que a precipitação pluviométrica seja maior, o balanço hídrico pode ser baixo, ou zero ou negativo (Sevegnani et al., 2016).

A latitude também influencia na temperatura, pois, em latitudes maiores, o clima passa a ter características mais definidas de clima temperado, com diferenças mais nítidas entre as estações do ano, embora, em distâncias mais reduzidas ou em latitudes próximas, as grandes diferenças de temperatura ocorram devido à rugosidade do terreno, decorrentes dos efeitos da variação da altitude e da nebulosidade, e não da latitude. Pode haver, também, grandes diferenças nas condições de temperatura entre os locais a barlavento e os situados a sotavento de uma montanha (Ometto, 1981) e, também, das vertentes que recebem maior ou menor radiação solar.

Segundo Maack (1981), a distribuição contínua da araucária tem seu limite altitudinal inferior de 500 m para os estados de Paraná e Santa Catarina, abaixo do qual a espécie só ocorre de forma descontínua e nas linhas de escoamento de ar frio. Roderjan et al. (2002) afirmam que, no Paraná, as araucárias aparecem na cota de 650-700 m, enquanto em São Paulo elas surgem acima dos 750-800 m, valores próximos aos obtidos neste trabalho.

De acordo com Backes (1999), a Floresta com Araucária é bem delimitada por clima temperado, com alto índice de chuvas e com geadas frequentes, sendo coincidente à isoterma anual de 18 °C. Isto se verifica para os estados da região Sul, mas não para São Paulo, onde a região da Floresta com Araucária apresenta temperatura média anual de 19,8 °C, a mais elevada dentre todos os estados.

A média mensal pode atingir valores inferiores a 10 °C nos meses mais frios e superiores a 20 °C nos meses mais quentes (Backes, 1999). Isto foi observado nas áreas da FOM em todos os Estados. Um comparativo entre a temperatura média anual, média da precipitação pluviométrica anual acumulada e altitude média para os estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo pode ser visualizado na Figura 2.

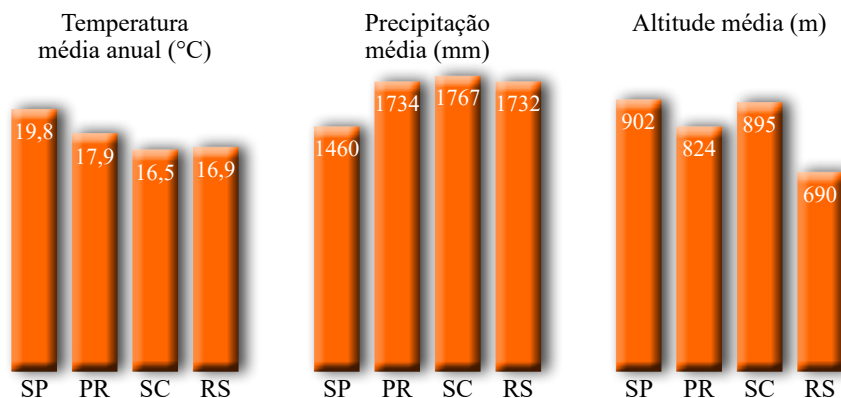


Figura 2. Comparação da temperatura média anual, precipitação pluviométrica acumulada anual e altitude entre as áreas de Floresta com Araucária nos estados da região Sul e São Paulo.



Considerações finais

As áreas naturais da Floresta com Araucária apresentam sempre temperaturas menores e maiores riscos de ocorrência de geadas, quando comparadas às outras áreas, com outros tipos de vegetação, com exceção dos campos de altitude que não foram considerados neste trabalho. Em cada Estado há uma particularidade em relação à insolação, evapotranspiração, disponibilidade hídrica, precipitação pluviométrica e nebulosidade.

A umidade relativa do ar é sempre maior nas áreas ocupadas pela FOM, independentemente de haver menor pluviosidade, e a precipitação pluviométrica é variável. Considerando São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul não há diferença entre as precipitações pluviométricas das áreas com e sem Floresta com Araucária. Entretanto, em geral, a disponibilidade hídrica é, no mínimo, maior nas áreas naturais da Floresta com Araucária.

As altitudes são maiores em todos os Estados embora, no caso da Serra do Sudeste, no Rio Grande do Sul, as araucárias ocorram a uma altitude de até 240 m. Isto é possível devido à posição meridional de latitude superior aos 30° S da área.

Como a Floresta com Araucária é mantida apenas em áreas menos favoráveis às espécies latifoliadas, seu condicionamento permanece sendo climático, mesmo indiretamente. Assim, com o aquecimento global, a araucária apresenta elevada vulnerabilidade, podendo ficar restrita a áreas cada vez mais elevadas e, ou em latitudes maiores. Desta forma, haveria a gradativa substituição da FOM por outras florestas que a circundam.

A Floresta com Araucária ocorre em diversos substratos litológicos ao longo da região Sul do Brasil e de São Paulo, o que inclui solos de diversas classes e diferentes fertilidade, textura e profundidade efetiva. Os solos podem apresentar caráter eutrófico, distrófico e álico.

As informações aqui disponibilizadas poderão auxiliar na definição de estratégias de ação voltadas para a conservação da Floresta com Araucária, especialmente considerando as mudanças climáticas globais, na conservação in situ e no estabelecimento de Unidades de Conservação. Por outro lado, estudos envolvendo um maior número de estações meteorológicas amostradas, com um conjunto maior de variáveis climáticas, poderão elucidar, com maiores detalhes, a questão de radiação, nebulosidade e evapotranspiração das áreas de Floresta com Araucária.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. O domínio dos “mares de morros” no Brasil. **Geomorfologia**, n. 2, p. 1-9, 1966.
- ARBALLO, E. **Caracterización de los bosques nativos uruguayos según sus aves**. Disponível em: <http://www.guayubira.org.uy/monte/seminario/ponencias/Arballo.pdf>. Disponível em: 13 nov. 2019.
- BACKES, A. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucária angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Brasil - II. **Pesquisas: Botânica**, v. 49, p. 31-51, 1999.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, fire and climate dynamics of Serra do Araçatuba in the Atlantic coastal mountains of Paraná State, southern Brazil. **Veget Hist Archaeobot**, v. 16, p. 77-85. 2007.
- BERTOLDO, É.; PAISANI, J. C.; OLIVEIRA, P. E. de. Registro de Floresta Ombrófila Mista nas regiões sudoeste e sul do Estado do Paraná, Brasil, durante o Pleistoceno/Holoceno. **Hoehnea**, v. 41, n. 1, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062014000100001>.
- CAMPOS, J. B.; SILVEIRA FILHO, L. (coord.). **Ecossistemas paranaenses: floresta com Araucária**. Curitiba: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2010. v. 4.



CARLUCCI, M. B.; JARENKOW, J. A.; DUARTE, L. D. S.; PILLAR, V. D. Conservação da floresta com araucária no extremo sul do Brasil. **Natureza e Conservação**, v. 9, p. 111-114, 2011.

CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D.; CARVALHO, P. E. R.; REIS, A.; VIEIRA, A. R. R.; ROTTA, E.; STURION, J. A.; RAUEN, M. J.; SILVEIRA, R. A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 113 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/294054>.

CARVALHO, M. M. X. Os fatores do desmatamento da floresta com araucária: agropecuária, lenha e indústria madeireira. **Revista Esboços**, v. 18, n. 25, p. 32-52, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7976.2011v18n25p32>.

CASTRO, M. B. de. **Vulnerabilidade climática da *Araucaria angustifolia* na Mata Atlântica**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

COOK, K. H. South American climate variability and change: remote and regional forcing processes. In: VIMEUX, F.; SYLVESTRE, F.; KHODRI, M. (ed.). **Past climate variability in South America and Surrounding Regions**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 193-212. (Developments in paleoenvironmental research, 14).

DURY, G. H. High temperature extremes in Austrália. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 62, n. 3, p. 388-400, 1972.

DUTRA, T. L.; STRANZ A. História das Araucariaceae: a contribuição dos fósseis para o entendimento das adaptações modernas da família no Hemisfério Sul, com vistas a seu manejo e conservação. In: RONCHI, L. H.; COELHO, O. G. W. (ed.). **Tecnologia diagnóstica e planejamento ambiental**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. p. 293-351.

FERNANDÉZ, R. A. **Identificação dos atributos do solo determinantes da qualidade de sítio para *Araucaria angustifolia* (BERT) O. Ktze., com apoio na metodologia da análise estrutural**. 1989. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FONSECA, C. R.; SOUZA, A. F.; LEAL-ZANCHET, A. M.; DUTRA, T.; BACKES, A.; GANADO, G. (Ed.). **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. 328 p.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREG E, M. S. Fatores climáticos limitantes da distribuição da araucária no estado do Paraná e as implicações para sua restauração. **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 258, 2018a.

FRITZSONS, E.; WREGGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. A distribuição natural do pinheiro-do-paraná no estado do Rio Grande do Sul, Brasil: a influência de fatores climáticos e geomorfológicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 118-132, 2018b. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.51315>.

FRITZSONS, E.; WREGGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Climatic aspects related to the distribution of brazilian pine in the state of Santa Catarina. **Floresta**, v. 48, p. 503, 2018c. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i4.53272>.

FRITZSONS, E.; WREGGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Fatores climáticos limitantes para a distribuição da araucária no estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 663-672, 2017.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série Técnica, 11).

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I.; TREVISAN, R. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia, 2010.

HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C.; MODENESI-GAUTTIERI, M.; HACKSPACHER, P. C.; NETO, JULIO, C. H.; FRANCO-MAGALHÃES, A. O. B. S. T. Denudation history of the Bocaina Plateau, Serra do Mar, southeastern Brazil: relationships to Gondwana breakup and passive margin development. **Gondwana Research**, v. 18, v. 4, p. 674-687, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.03.001>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em geociências: técnico da vegetação brasileira**, 1. Rio de Janeiro, 2012. 271 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 12 set. 2019.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. Cambridge: Cambridge University, 1992.



- KLEIN, R. M. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. p.1-24. (Flora ilustrada catarinense).
- KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. *Sellowia*, v. 12, p.17-48, 1960.
- KLEIN, R. M. Southern brazilian phytogeographic features and probable influence of upper quaternary climatic changes in the floristic distribution. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 33, 1975.
- KRONKA, F. J. N. (org.). **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2005. 200 p.
- LEITE, P. F. **As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil**. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. v. 2. p. 113-150.
- LIEBSCH, D.; MAÇANEIRO, J.; MARCON, A.; GALVÃO, F. Influência de impactos antrópicos em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 87, p. 277-287, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1213>.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1981. 442 p.
- MAACK, R. **Mapa fitogeográfico do Estado do Paraná**. Curitiba: IBPT-SAIC/INP, 1950. Mapa 115 x 80 cm. 1:750.000.
- MANTOVANI, L. E.; FRITZSONS, E.; PARANHOS FILHO, A. C.; MONTEIRO, C. da S. A evolução dinâmica das savanas subtropicais sul americanas. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 5, n.1, p. 42-55, 2003.
- MANTOVANI, A.; MORELLATO, P. C.; REIS, M. S. dos. 2004. Reproductive phenology and seed production of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.
- MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2. ed. Lages: Artes Gráficas Princesa, 1994. 225 p.
- NATIONAL WEATHER SERVICE. **National Oceanic and atmospheric administration**. Disponível em: https://www.weather.gov/arx/why_frost. Acesso em: 12 set. 2019.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p. (Recursos naturais e meio ambiente).
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; EISENLOHR, P. V.; NEVES, D. R. M. Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *Journal of Plant Ecology*, v. 8, n. 3, p. 242-260, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtt058>.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. p. 129-132.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAN, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002.
- PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. Variação em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. associada a condições edafo-climáticas. *Scientia Forestalis*, v. 70, p. 137-148, 2006.
- RAMBO, B. O elemento andino no pinhal riograndense. *Anais Botânicos*, n. 3, p. 7-39, 1951.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbario Barbosa Rodrigues, 1966.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. *Sellowia*, n. 34-35, p. 1-525, 1983.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do Rift continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. de. (ed.). **Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Cláudio Marques de Almeida**. São Paulo: BECA, 2004. p. 385-405.
- RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACK, G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. *Ciência e Ambiente*, v. 24, p. 75-92, 2002.
- SANTOS, H. G. dos; CARVALHO JUNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S. de; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130.)



SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário florestal nacional**: principais resultados: Paraná. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018. 84 p.

SEVEGNANI, L.; UHLMANN, A.; GASPER, L.; MEYER, L.; VIBRANS, A. C. Climate affects the structure of mixed rain forest in southern sector of Atlantic domain in Brazil. *Acta Oecologica*, v. 77, p. 109-117, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.10.002>.

THOMAS, P. *Araucaria angustifolia*. In: THE IUCN Red List of Threatened Species, 2013. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

UHLMANN, A.; GASPER, A. L. de; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MEYER, L.; LINGNER, D. V. Fitogeografia de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. (ed.). **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**: diversidade e conservação dos remanescentes florestais. Blumenau: Edifurb, 2012. v. 1. p. 113-126.

VEBLEN, T. T. Regenerations patterns in *Araucaria araucana* forests in Chile. *Journal of Biogeography*, v. 9, n. 1, p. 11-28, 1982.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira**: adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 112 p.

VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**. Blumenau: Edifurb, 2012. 6 v.

WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; BRITZ, R. M.; GARRASTAZU, M. C.; SOUSA, V. A. de; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; BRAGA, H. J. Climate change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil. *Unasylva*, v. 60, n. 231/232, p. 30-33, 2009.

WREGE, M. S.; SOUSA, V. A. de; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; AGUIAR, A. V. de. Predicting Current and Future geographical distribution of *Araucaria* niche modeling. *Environmental and Ecology Research*, v. 4, p. 269-279, 2016. DOI: <https://doi.org/10.13189/ eer.2016.040506>.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; 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. 336 p.

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 geadas na Região Centro-Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57306>.



5

Uso de modelos de nicho para a predição de ocorrência de espécies florestais

Marcos Silveira Wrege
Valderês Aparecida de Sousa
Márcia Toffani Simão Soares
Itamar Antônio Bognola
Elenice Fritzsos
Ananda Virgínia de Aguiar
Letícia Penno de Sousa

Introdução

Nicho ecológico é, basicamente, o conjunto de condições e recursos a partir dos quais os indivíduos de uma espécie são capazes de sobreviver, crescer e se reproduzir (De Marco Júnior; Siqueira, 2009). Holt (2009) e Wiens (2011), baseando-se no conceito de nicho ecológico dado por Hutchinson (1957), definem nicho como sendo um conjunto de condições bióticas e abióticas onde a espécie pode permanecer. O estudo do nicho de uma espécie ou população determina a amplitude de sua distribuição geográfica.

Existem ferramentas modernas que podem ser usadas para fazer a modelagem do nicho ecológico. Esses modelos têm muitas aplicações, e uma lista delas sempre estará incompleta, pois seu uso está em crescimento, com inovações a cada dia que permitem novas abordagens. As principais delas são: localizar espécies ou populações raras ou ameaçadas de extinção (Menon et al., 2010); fazer estudos fitogeográficos (Alfaro et al., 2014); estudar regiões com potencial de entrada de espécies invasoras, de pragas ou de doenças (Queiroz et al., 2018); fazer a projeção futura do nicho ecológico de uma espécie ou de uma população, com base nos padrões de alterações climáticas de uma região; estimar os padrões potenciais de riqueza de uma espécie, entre outras.

Juntamente com os estudos de genética de populações, os modelos de nicho têm sido usados para estudar a distribuição e a diversidade de populações naturais (Sousa; Richards, 2011) e indicar populações de interesse para uso em programas de melhoramento ou de conservação genética (Wrege et al., 2009, 2015, 2017). Com base na importância da ferramenta para estudos voltados à conservação, melhoramento genético e manejo de espécies florestais no Brasil, o presente capítulo aborda os principais aspectos, limitações e perspectivas de aplicação desta ferramenta na silvicultura do País.

A relação entre as espécies, o ambiente e os espaços geográficos: conceito de nicho ecológico

Conceito de nicho ecológico

O conceito de nicho ecológico parte do princípio que o conhecimento das condições e recursos nos quais os indivíduos de uma espécie são capazes de se adaptar e se estabelecer auxiliam na predição da sua distribuição (Grinnell, 1917; James et al., 1984; Soberón; Peterson, 2005). Tem-se observado a existência de relação direta entre a distribuição de espécies, as condições bióticas e abióticas favoráveis e o nicho ecológico, verificando-se que o limite de ocorrência de uma espécie coincide com o limite do nicho (Lee-Yaw et al., 2016). Sexton et al. (2009) afirmam que o limite de ocorrência de uma espécie é a expressão de seu nicho ecológico no espaço geográfico. A inter-relação entre biogeografia e nicho também é apontada por Wiens (2011).

Tipos de nicho ecológico

Existem basicamente dois tipos de nicho: o fundamental e o realizado. O primeiro é teórico e corresponde aos limites máximos das condições ambientais onde uma espécie pode sobreviver na ausência de interações prejudiciais, tal como a competição que ocorre na presença de outras espécies. É representado pela tolerância e resposta fisiológica da espécie às condições abióticas de determinado local, dentre elas o clima, solo e relevo. A distribuição das espécies, bem como dos



recursos genéticos das espécies florestais, tem forte influência do clima que atua como uma ação direcionadora sobre os limites das regiões de ocorrência das espécies (Garcia et al., 2013; Alfaro et al., 2014).

O nicho realizado, por sua vez, é o real, o que existe de fato na natureza. O nicho realizado considera, além das condições abióticas, as interações bióticas, incluindo tanto as interações prejudiciais (ex. competição) quanto as benéficas (ex: simbiose) entre as espécies, as quais podem limitar ou expandir os limites máximos das regiões onde a espécie pode sobreviver. Por exemplo, uma espécie poderia deixar de ocupar um espaço onde teria os limites das condições ambientais favoráveis para se desenvolver, devido à presença de outra espécie mais competitiva e que disputaria o mesmo nicho.

Na distribuição das espécies, existe ainda a influência de outros fatores que limitam a sua ocorrência, como as barreiras geográficas (ex. cadeia de montanhas, rios, oceanos, desertos, entre outras) e a história da espécie (ex. diferentes eras geológicas que apresentam períodos de maior aquecimento e períodos de resfriamento, que alteram a distribuição da espécie ao longo do tempo), que impedem sua dispersão, podendo aumentar as diferenças entre o nicho fundamental e o realizado.

Competição entre espécies pelo mesmo nicho ecológico

É comum ocorrer a sobreposição de nichos entre duas ou mais espécies, quando estas têm necessidades semelhantes, podendo ocorrer competição, conforme o caso. A competição depende da dimensão da sobreposição entre os nichos e pode causar um estreitamento do nicho realizado. Uma das possíveis respostas de uma espécie à sobreposição de nichos é a sua aclimatação, em outras dimensões do nicho fundamental, com a formação de tipos morfológicos diferenciados que, no longo prazo, podem evoluir e gerar uma nova espécie pelo processo de especiação. A especiação pode se dar de forma que uma espécie pode evoluir para outra ou, ainda, em duas ou mais novas espécies. Ocorre especialmente quando uma população de determinada espécie se isola, modificando o nicho em função da adaptação a novas condições e recursos do meio, permanecendo isolada das demais populações quanto ao aspecto reprodutivo, não havendo trocas de genes entre a população isolada e as demais. Sofre, assim, mutações cumulativas que podem modificar, com o tempo, o genótipo, alterando sua relação com o meio e sua expressão fenotípica e evoluindo para uma nova espécie (Towsend et al., 2009).

Modelagem da distribuição de espécies

O nicho ecológico de uma espécie pode ser modelado espacialmente [Modelos de Nicho Ecológico (ENM) - sigla em inglês que significa “Ecological Niche Models”]. Os modelos podem ser usados para delimitar a distribuição das espécies no espaço e no tempo, e para entender como as condições ambientais influenciam na ocorrência ou na abundância de uma espécie ou de uma população. A relação entre espaço e tempo é dinâmica e o espaço que uma espécie ocupa em um determinado momento pode se alterar. Por isso se diz que o nicho possui uma dimensão temporal e mutável. As ações antropogênicas, como as alterações do clima, são também capazes de influenciar na distribuição das espécies ao longo do tempo (PBMC, 2012).

A mudança na distribuição da espécie causada pelas alterações dos padrões climáticos, ao longo do tempo, pode ser quantificada com o uso de modelos e camadas contendo dados climáticos de cenários futuros, utilizando programas especiais de modelagem de nicho, como o OpenModeller



ou o MaxEnt, em conjunto com sistemas de informações geográficas (SIG), para a interpretação dos resultados. Com isso, é possível calcular o ganho ou a perda de área potencial que uma espécie ou uma população poderá ter, em função das mudanças climáticas, na maioria dos casos representada pelo aumento de temperatura ou, em alguns casos, pelo resfriamento e pela alteração dos padrões de precipitação pluvial, variável conforme a região.

Os modelos consideram os pontos de ocorrência das espécies/populações estudadas, representadas pelas coordenadas geográficas, estabelecendo uma ligação com variáveis abióticas, tais como o clima, os solos e as características topográficas do lugar de ocorrência. Entretanto, não considera as interações bióticas. Atualmente, os modelos são capazes de prever o nicho fundamental e não o nicho realizado. A inclusão das interações interespecíficas na modelagem está sendo intensivamente estudada, principalmente para a predição de ocorrência de uma espécie em relação a outra fortemente relacionada (De Marco Júnior; Siqueira, 2009), como a araucária e a gralha-azul, por exemplo.

O clima, por ter influência forte e direta sobre a distribuição das espécies, e também pela disponibilidade de base de dados, tem sido amplamente utilizado para a estimativa da ocorrência de espécies florestais (Garcia, 2014; Matos et al., 2017; Scarante et al., 2017; Wrege et al., 2017). As regras de distribuição utilizadas no presente (período base) podem ser aplicadas nas projeções de cenários futuros, de acordo com os modelos climáticos desenvolvidos pelas organizações meteorológicas presentes em todo o mundo, as quais geram os cenários seguindo as tendências apontadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (Sigla em inglês, que representa as iniciais de ‘Intergovernmental Panel on Climate Change’) (Siqueira; Peterson, 2003). Existem também modelos matemáticos capazes de prever as condições futuras de clima, com base no padrão histórico de estações meteorológicas, como aquele desenvolvido por Virgens Filho et al. (2011).

Etapas na elaboração de modelos de nicho ecológico

Estão sintetizadas adiante as etapas a serem seguidas no processo de modelagem de nicho ecológico, abrangendo desde o preparo dos pontos de ocorrência da espécie e das camadas ambientais até a modelagem propriamente dita:

Etapa 1 - Obtenção, preparo e análise dos pontos de presença ou de ausência das espécies ou populações

A primeira etapa da modelagem consiste na obtenção, análise e preparo dos pontos de presença ou de ausência da espécie ou da população a ser modelada, quando devem ser eliminadas as coordenadas de menor precisão (ex.: coordenada de município), duvidosas, erradas, discrepantes ou muito próximas umas das outras, ainda que corretas. Na maioria dos casos, os algoritmos que trabalham com dados de presença são os preferidos, pois os dados de ausência são raros e difíceis de determinar. Só são usados quando se tem certeza de que a espécie não ocorre em uma dada região. Existem três tipos: os dados primários, os dados inéditos, obtidos in loco e por meio de levantamentos de campo, e os dados secundários, publicados em formato digital, em bases de domínio público que reúnem a coleção de vários herbários, como o SpeciesLink (<http://www.splink.cria.org.br>), o GBIF (<http://www.gbif.org>) e IABIN (<http://www.iabin.net>) e, ainda, os obtidos por meio de levantamentos na literatura.



Em princípio, os dados depositados nos bancos de dados citados não passam por um processo rigoroso de validação. Esse processo precisa ser executado pelo usuário, que deve analisar e preparar os dados para a modelagem. Segundo De Marco Júnior e Siqueira (2009), a qualidade do dado usado na modelagem é fundamental para o sucesso do resultado final. A qualidade e a quantidade dos dados de distribuição afetam fortemente os resultados da modelagem (Suarez-Seoane et al., 2002), assim como a resolução e escolha das variáveis ambientais (Robertson et al., 2003). O aumento do número de pontos aumenta a acurácia dos modelos (Stockwell; Peterson, 2002) e a seleção de um adequado conjunto de pontos pode afetar mais o resultado dos modelos do que a seleção do melhor algoritmo.

Dados de presença ou de ausência de uma espécie disponíveis nos bancos podem apresentar limitações, devido à imprecisão ou do viés na escolha das áreas de coleta (De Marco Júnior; Siqueira, 2009), requerendo uma criteriosa análise antes do uso. Exemplos de limitações que podem comprometer a acurácia do modelo são a predominância de registros em áreas de mais fácil acesso, como centros urbanos e rodovias; o registro da coordenada do município em substituição às coordenadas do local do levantamento de campo, principalmente no caso de dados mais antigos; erros como a inversão de coordenadas (troca de latitude por longitude); identificação de regiões de plantio em que a ocorrência não é natural (ex.: plantio utilizando populações de uma mesma espécie proveniente de outra região); erros de identificação da espécie, entre outros.

Pontos de pseudoausência são aqueles pontos simulados, isto é, onde não houve um georreferenciamento no campo, mas sabe-se que a espécie ou a população não ocorre no local e, portanto, é simulada a sua não ocorrência. A inclusão de pontos de pseudoausência na modelagem pode aumentar a acurácia do modelo. A relação sugerida é de 100 pontos de ausência ou pseudoausência para cada ponto de presença, com isso diminui-se o erro de sobreprevisão, que é a tendência de mapear áreas como potencialmente adequadas, onde não existe relato de presença da espécie.

O uso das camadas ambientais na geração dos modelos também requer cautela. Aspectos como a aplicação de camadas relacionadas à ocorrência da espécie/população, ou a falta de camadas relacionadas à ocorrência nos modelos, bem como o uso de camadas com resolução espacial inferior à desejada, podem limitar a predição da área de distribuição da espécie. Como exemplo, locais com grande variabilidade climática e que, se não houver camadas de clima com resolução espacial desejada, pode-se ocultar as variações microclimáticas, com erros de predição

Apesar dos problemas citados, a importância da geração de modelos de nicho justifica-se não somente pela grande demanda por informações de distribuição de espécies e das projeções futuras, causadas pelas mudanças climáticas globais (Thuiller, 2003), como também pela necessidade de ajustes dos modelos e identificação das lacunas de informações, para o melhor uso da ferramenta.

Nos levantamentos feitos em campo ou na literatura, existe um número ideal de pontos de presença de uma espécie/população que deve ser usado para gerar um modelo satisfatório. De modo geral, quanto maior a quantidade de pontos, melhor será o resultado. Segundo Wisz et al. (2008), pode-se dividir a quantidade necessária de pontos em três classes: 10, 30 ou 100 pontos. Essa divisão baseia-se na disponibilidade de dados (muitas vezes dispõe-se de poucos pontos de presença da espécie) e na importância da espécie. No entanto, para as espécies raras (Siqueira et al., 2009) ou críticas (Pearson et al., 2007), as quais muitas vezes não têm essa quantidade de pontos (10, 30 ou 100), Stockwell e Peterson (2002), entre outros autores, sugerem usar um número menor de pontos, utilizando para este fim métodos de análise específicos.



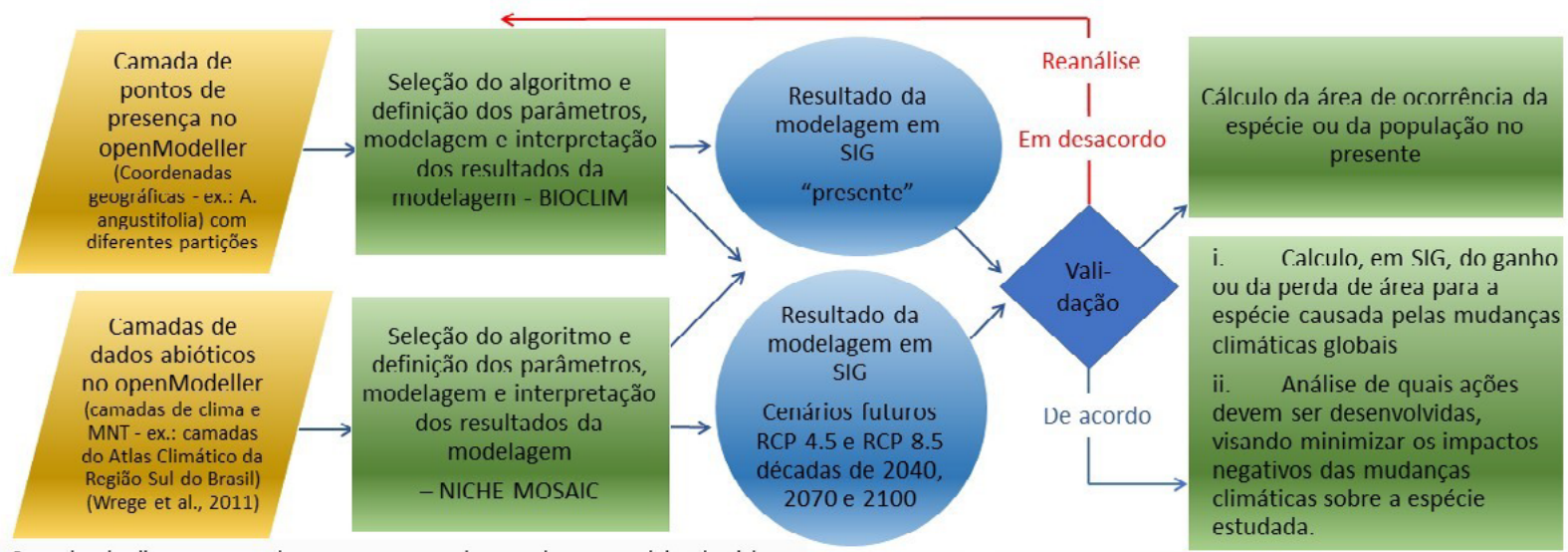
Etapa 2 - Obtenção, preparo e análise das camadas ambientais

Na predição de ocorrência de uma espécie ou de uma população, as camadas ambientais selecionadas para a modelagem são, geralmente, criadas no formato “raster”, apresentados como uma matriz de células, conhecidas como “pixel”, e com o tamanho de cada pixel determinando a resolução espacial. A qualidade da predição de ocorrência dependerá da resolução das camadas ambientais. Na escolha da melhor resolução, é necessário considerar a precisão dos pontos de ocorrência, as características do terreno, as características da espécie e a área a ser analisada (Elith; Leathwick, 2009). No entanto, alguns autores questionam se a resolução das camadas ambientais tem efeito sobre o resultado dos modelos (Guisan et al., 2006).

Além do formato “raster”, alguns softwares, entre os quais o MaxEnt (Phillips et al. 2006), trabalham também com o formato vetor. Neste caso, cada polígono formado por uma linha vetorial tem um único valor categórico. Este formato é muito comum, por exemplo, quando se usam dados de solos. O OpenModeller, outro software de modelagem muito utilizado, não trabalha com camadas contendo variáveis categóricas (formato “vetor”), trabalha apenas com variáveis contínuas (formato “raster”). O OpenModeller realiza um processo de experimentação, utilizando os mesmos dados de entrada para vários algoritmos, em ambiente controlado, gerando um resultado diferente de saída para cada algoritmo utilizado.

As camadas altamente correlacionadas devem ser evitadas (Guisan; Thuiller, 2005). Existem técnicas estatísticas para identificá-las e para uso na seleção das variáveis. Alguns autores utilizam técnicas de análise multivariada para avaliar a contribuição das variáveis na variação dos dados e como um indicativo de sua importância na distribuição das espécies, tal como o uso de Análises de Componentes Principais (Peterson et al., 2003) ou, também, a aplicação de índices de correlação para remover as variáveis altamente correlacionadas, diminuindo assim a multicolinearidade entre os dados (Guisan; Thuiller, 2005) ou, ainda, a aplicação de técnicas de mineração de dados (Hochachka et al., 2007).

Inicialmente, o método “jackknife” era muito utilizado. Atualmente, não é mais usado, pois foram criados muitos algoritmos que apresentam formas diferentes de processar os dados e de apresentar os resultados (veja modelo esquemático da modelagem na Figura 1).



Camadas de clima + pontos de presença = camadas geradas por modelos de nicho

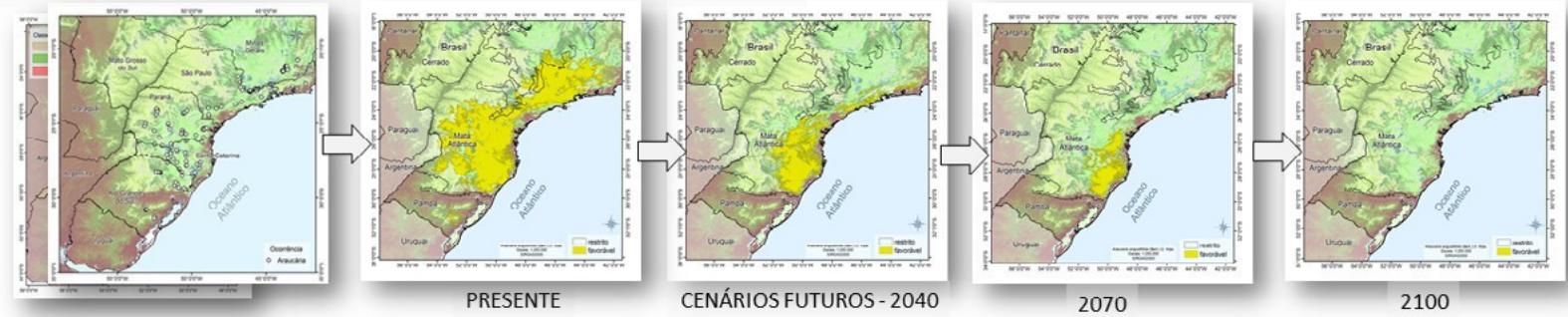


Figura 1. Representação esquemática do procedimento padrão para modelagem de nicho - ex.: *A. angustifolia*.

Fonte: Wrege et al. (2015).

Nota: RCP45 e RCP 85 são trajetórias de concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera adotadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, no 5º Relatório feito em 2013. O primeiro é considerado menos pessimista e o segundo mais pessimista (sigla em inglês, que significa Representative Concentration Pathway).

MNT é o Modelo Numérico do Terreno ou modelo digital de elevação que representa a altitude.



Etapa 3 - Seleção dos algoritmos da modelagem de nicho ecológico

Para estabelecer o limite de distribuição de uma espécie, é necessário um critério. O melhor limite é o que minimiza a omissão e a sobreprevisão. Pode-se dizer que quanto maior a omissão, menor a sobreprevisão e vice-versa. A estratégia mais adequada é a fixação da taxa de omissão, pois não é possível fazer inferências da sobreprevisão somente com pontos de presença da espécie.

Existem vários modelos de nicho (algoritmos) desenvolvidos até o momento, para mapear a distribuição das espécies, cada um com suas particularidades e indicações para uso. Uns funcionam melhor com uma grande quantidade de pontos de presença de uma espécie, enquanto outros conseguem fazer boas predições, apesar do número pequeno de ocorrência, e são indicados para as espécies raras, por exemplo. Adiante são apresentados os principais algoritmos que estão associados ao software de modelagem de nicho ecológico “OpenModeller” e suas características.

- **Artificial Neural Network** (Redes Neurais Artificiais): este algoritmo usa técnicas de interconexão artificial de dados, imitando as propriedades das redes de neurônios existentes nos seres vivos, para criar mapas de distribuição das espécies. Servem para resolver problemas de inteligência artificial sem, contudo, criar um modelo de um sistema real. Dados dos conjuntos de pontos onde se sabe que a espécie ocorre e do conjunto de camadas contendo dados ambientais (clima, solo e condições geográficas) são usados, representando os parâmetros que podem limitar a capacidade de sobrevivência da espécie.
- **Bioclim**: este algoritmo usa a média e o desvio padrão, separadamente, de cada variável para calcular os envelopes bioclimáticos para o desenvolvimento de uma espécie e, com estes dados, cria mapas de distribuição da espécie. A adequação dos valores das variáveis ambientais, em cada ponto, e os respectivos envelopes são responsáveis por classificar os pontos em “adequados”, “marginais” ou “inadequados”. Dados dos conjuntos de pontos onde se sabe que a espécie ocorre e do conjunto de camadas contendo dados ambientais (clima, solo e condições geográficas) são usados, representando os parâmetros que podem limitar a capacidade de sobrevivência da espécie.
- **EnvelopeScore** (Modelo Envelope): Este modelo baseia-se nos valores mínimos e máximos de cada variável para definir os envelopes bioclimáticos e, com isso, criar mapas de distribuição das espécies. A probabilidade de ocorrência da espécie, em um dado ponto, é determinada pelo número de variáveis ambientais que se situam no entre os valores máximos e mínimos. Dados dos conjuntos de pontos, onde se sabe que a espécie ocorre, e do conjunto de camadas contendo dados ambientais (clima, solo e condições geográficas) são usados, representando os parâmetros que podem limitar a capacidade de sobrevivência da espécie.
- **Environmental Distance** (Distância Ambiental): algoritmo que normaliza os valores das variáveis ambientais e calcula a distância entre as condições ambientais, para cada ponto de ocorrência, e seleciona a menor distância. Se o valor de distância calculada estiver entre “0” e o valor do “parâmetro fornecido”, então a probabilidade de ocorrência estará no intervalo entre “0” e “1”. Se o valor for superior ao valor do parâmetro, então a probabilidade será “0”.
- **Genetic Algorithm for RuleSet Prediction (GARP)** (Algoritmo genético para predição de distribuição de espécie): algoritmo genético que descreve as condições ambientais nas quais as espécies têm condições favoráveis para garantir a manutenção de suas populações. Com base nisso, mapas de distribuição das espécies são criados. Dados dos conjuntos de pontos onde se sabe que a espécie ocorre e do conjunto de camadas contendo dados ambientais (clima, solo e condições geográficas) são usados, representando os parâmetros que podem limitar a capacidade de sobrevivência da espécie.



- **MaxEnt** (Máxima Entropia): o algoritmo usa o princípio da máxima entropia quanto aos dados de presença de uma espécie, para estimar um conjunto de funções que se relacionam com variáveis ambientais do habitat, a fim de criar mapas que se aproximem da distribuição geográfica potencial da espécie (Phillips et al., 2006).
- **Support Vector Machine (SVM)** (Máquinas de Vetores de Suporte): este algoritmo é representado por um conjunto de métodos de aprendizados supervisionados relacionados que pertencem a uma família de classificadores lineares generalizados. Uma propriedade especial das SVMs é que minimiza simultaneamente o erro de classificação empírica e maximiza a margem geométrica; por isso também são conhecidos como classificadores de margem máxima. Com esse princípio, cria mapas de distribuição das espécies. Dados dos conjuntos de pontos onde se sabe que a espécie ocorre e do conjunto de camadas contendo dados ambientais (clima, solo e condições geográficas) são usados, representando os parâmetros que podem limitar a capacidade de sobrevivência da espécie.
- **Modelo de consenso**: atualmente, é muito sugerido na literatura o uso de modelos de integração, chamados “modelo de consenso” entre vários algoritmos, como o próprio nome informa (De Marco Júnior; Siqueira, 2009). Em SIG, são agrupados os resultados de vários modelos, gerando um resultado final que integra todos os demais.

Modelagem de nicho como ferramenta para a conservação genética - um exemplo de uma espécie típica e emblemática do Bioma Mata Atlântica em perigo de extinção: *Araucaria angustifolia*

Um dos principais problemas relacionados à conservação e ao pré-melhoramento de populações nativas é a identificação e a delimitação do espaço geográfico ocupado por elas. A seleção feita fenotipicamente sem nenhum indicativo sobre as delimitações de populações naturais, como vem sendo realizada em grande parte das situações, traz uma série de prejuízos ao processo de melhoramento genético, com maior tempo necessário para o desenvolvimento dos programas de melhoramento, maior dispêndio de recursos financeiros e menor chance de sucesso na obtenção de um material genético com qualidade superior. Estudos voltados à conservação e melhoramento genético com uso de modelos de nicho podem auxiliar, substancialmente, na identificação de habitats bioclimáticos em áreas de ocorrência natural de espécies, conforme apresentado por Shinnemann et al. (2016), para o gênero *Pinus*. O uso de modelos de nicho, juntamente com estudos de genética de populações, possibilita a delimitação de populações e de zonas ecológico-genéticas para o emprego nos trabalhos de melhoramento genético.

Aproximações da distribuição potencial de *Araucaria angustifolia* no Brasil no presente (período base, compreendido entre 1961 e 1990) e em cenários futuros (até 2100), considerando as mudanças climáticas globais estabelecidas pelo IPCC (2012), foram feitas por Wrege et al. (2017) (Figuras 2 e 3) com uso de modelagem de nicho ecológico. Nestas primeiras aproximações, foram utilizados somente parâmetros climáticos associados ao registro de pontos de presença da espécie, definidas pelos modelos Niche Mosaic e Bioclim. Esses modelos foram selecionados por serem os que geraram os melhores resultados, com os maiores valores de Area under Curve (AUC). O AUC é um índice qualificador do modelo gerado. Varia entre 0 e 1 e quanto mais próximo de 1, melhor a qualidade do modelo.

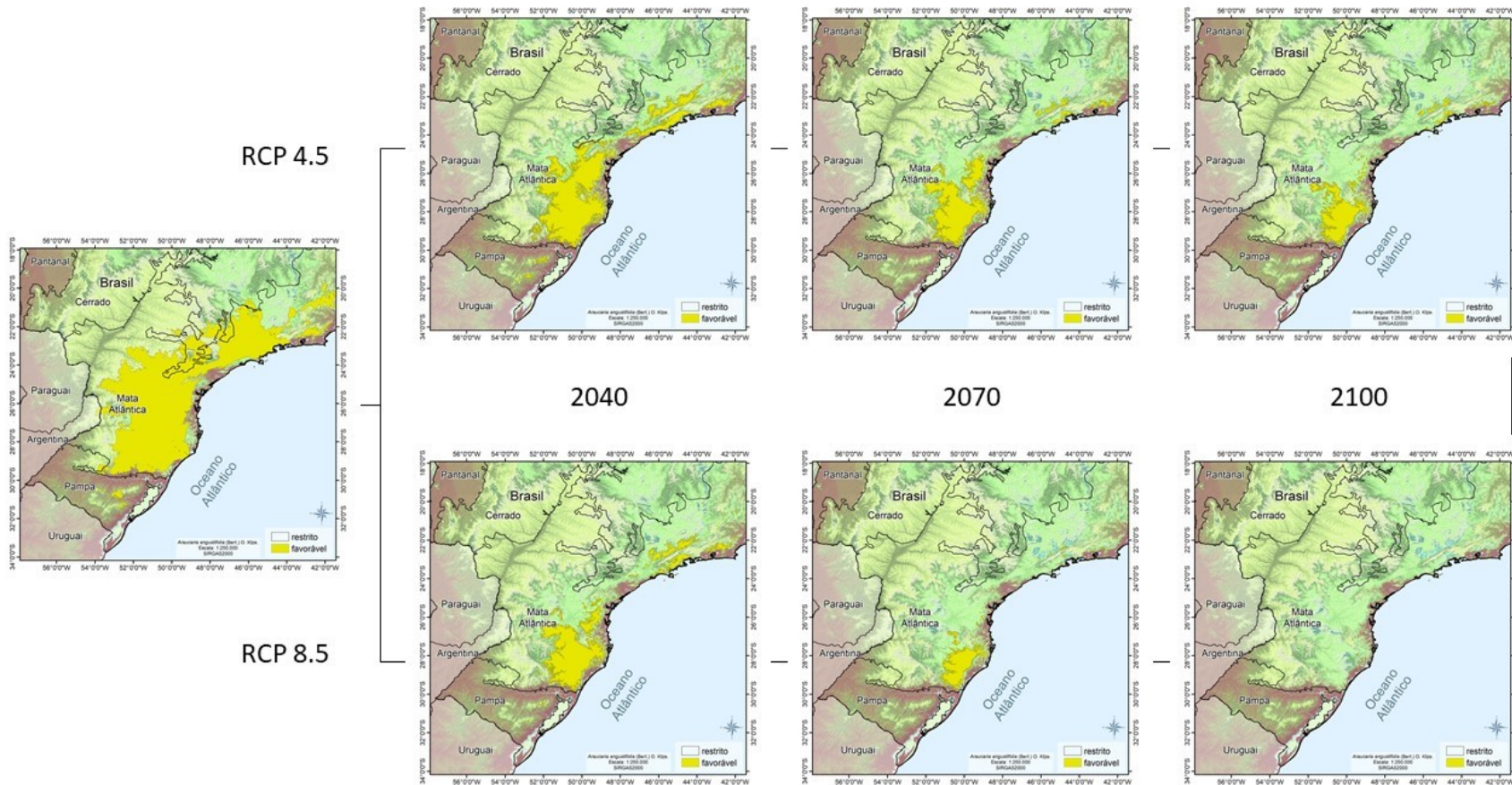


Figura 2. Modelos de nicho gerados para *A. angustifolia* para o presente e cenários futuros - Bioclim.

Fonte: Wrege et al. (2017).

Nota: RCP45 e RCP 85 são trajetórias de concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera adotadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC, no 5º Relatório feito em 2014 (IPCC, 2017). O primeiro é considerado menos pessimista e o segundo mais pessimista (sigla em inglês, que significa Representative Concentration Pathway).

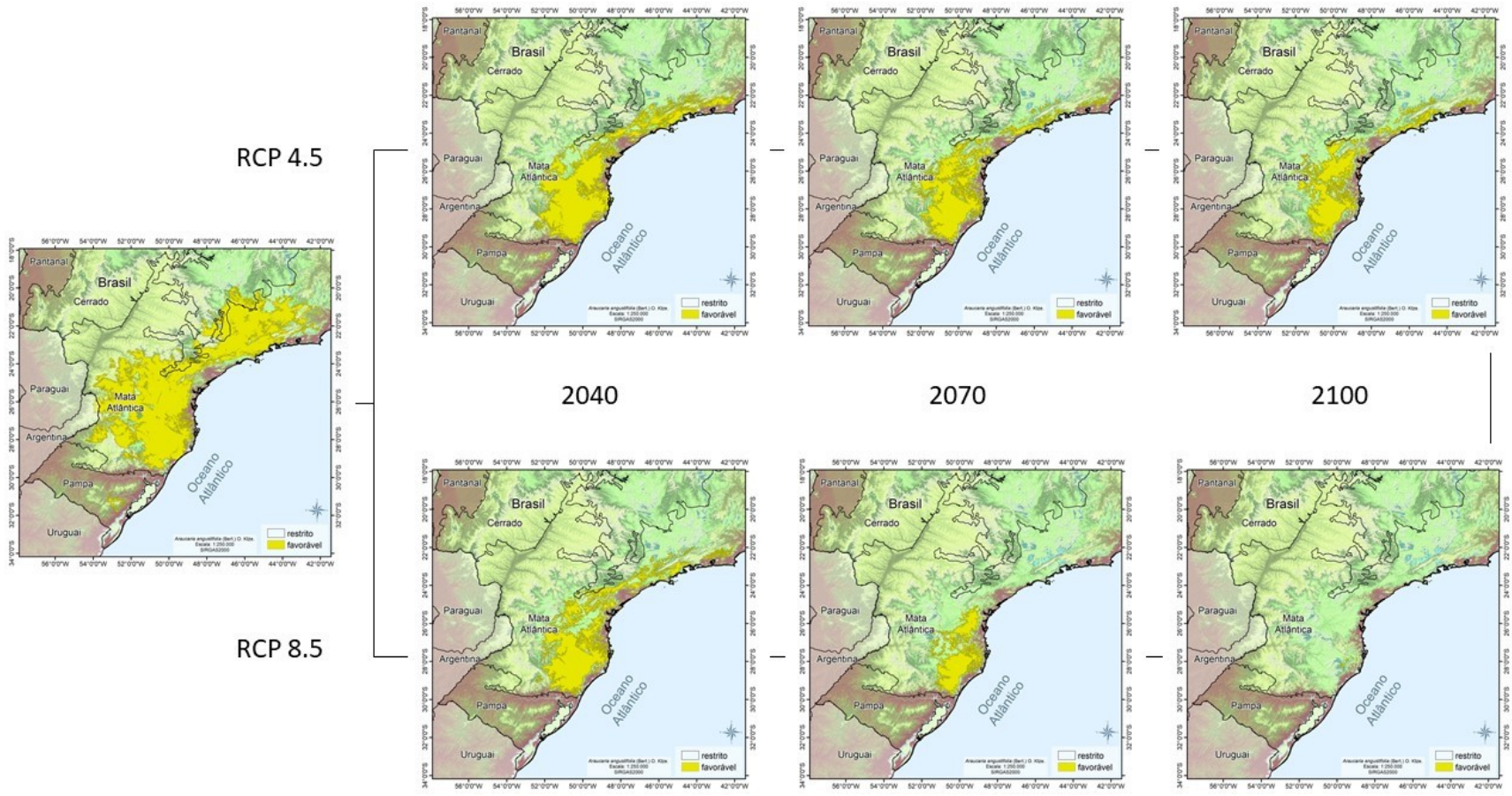


Figura 3. Modelos de nicho gerados para *A. angustifolia* para o presente e cenários futuros - Niche Mosaic.

Fonte: Wrege et al. (2017).

O mapa gerado com a distribuição da espécie, feito por Wrege et al. (2017), ficou similar à região de ocorrência natural da espécie, definido por Hueck (1953). No entanto, um dos modelos, o Niche Mosaic, apresentou também como área de domínio natural de *A. angustifolia*, o escudo Sul-Riograndense (Serra do Sudeste) - municípios de Santana da Boa Vista, Pelotas e Canguçu - localizado na Metade Sul do Rio Grande do Sul (Figuras 3 e 4). Nesta região, o clima é muito similar ao das outras regiões em que a espécie ocorre, mas em uma altitude bem menor, entre 200 m e 380 m. Os solos desta região são também bastante diferentes, geralmente rasos, arenosos e, ou pedregosos, de baixa fertilidade natural. O que foi identificado no resultado do modelo Niche Mosaic pode ser corroborado com Reitz et al. (1983), que consideram que o limite sul de ocorrência da araucária está na Serra do Sudeste, especificamente em Canguçu, na latitude de 31°S, onde é predominante a Floresta Estacional, com ocorrência de araucária. Dutra e Stranz (2003) também indicam que os núcleos de Floresta com Araucária, na Serra do Sudeste, são pequenos, mas fitogeograficamente importantes.

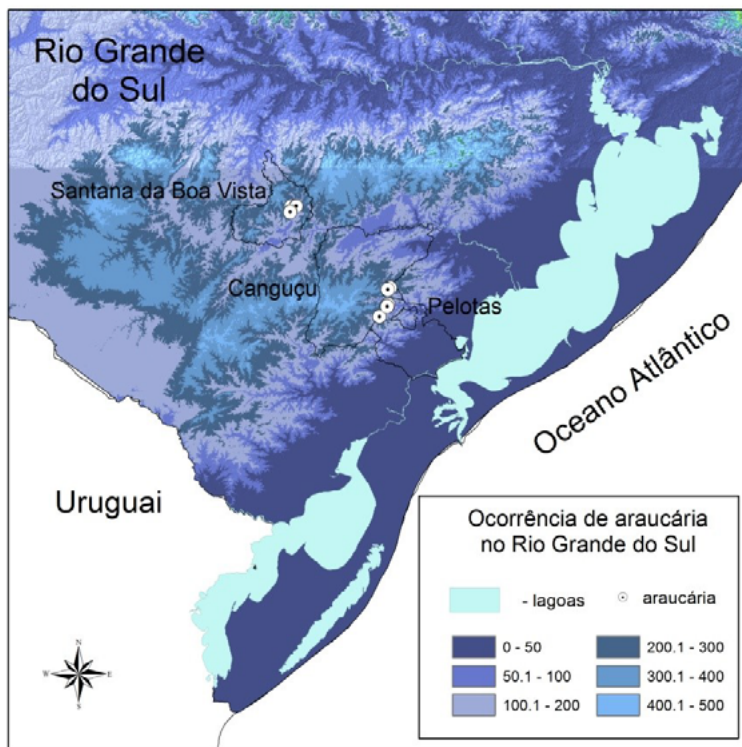


Figura 4. Região de ocorrência de *Araucaria angustifolia* na Serra do Sudeste - Metade Sul do Rio Grande do Sul - Pontos verdes no mapa (Fritzsons et al., 2018).

Fonte: levantamento feito pelos autores in loco.

Na projeção do futuro, com as alterações dos padrões climáticos, está prevista grande redução de área favorável para o desenvolvimento da espécie, que é tipicamente de clima temperado (Cfb). Wrege et al. (2015) concluíram que, para haver evolução da espécie e superação dos problemas causados pelas mudanças climáticas, seria necessário um longo período de tempo (centenas de anos), o que não é mais possível, pois as mudanças climáticas têm ocorrido muito rapidamente. *A. angustifolia* é classificada pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) como



criticamente em perigo de extinção (IUCN, 2017), um estágio anterior à extinção propriamente dita. Assim, o risco de extinção da espécie é agravado pelas mudanças climáticas e pela espécie apresentar resposta biológica muito lenta, devido ao longo ciclo reprodutivo, dentre outras características, que dificultam a sua resposta adaptativa.

A solução para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais para esta espécie e para outras espécies nas mesmas condições seria manter sua diversidade genética, para garantir a sua capacidade de sobrevivência nas próximas décadas, mantendo remanescentes nativos ou incentivando plantios com a utilização de sementes locais, para evitar o efeito da exogamia, que seria o cruzamento com procedências de outras regiões.

Além disso, seria necessário um monitoramento das populações que restaram da espécie e das espécies competidoras, avaliando o comportamento ao longo do tempo e o aumento da vulnerabilidade, visando garantir a manutenção da diversidade genética e a sobrevivência desta e de outras espécies em situação similar. Os modelos de nicho podem auxiliar nos monitoramentos, indicando áreas prioritárias para se proceder às análises de risco de extinção, isto é, onde a regeneração pode estar sendo prejudicada devido ao aquecimento global.

Atualmente, a tarefa de identificar populações para conservação é um trabalho árduo, frente à intensa fragmentação florestal, devido às ações antrópicas, o que restringe a movimentação, a conexão e a dispersão de organismos, podendo dar origem a subpopulações menores.

Perspectivas futuras

Para possibilitar ganhos na aproximação entre a distribuição preditiva e a realidade de campo, diversos grupos de pesquisa têm apontado a necessidade de inclusão de um maior número de parâmetros associados à ocorrência e à produção dos modelos matemáticos (Garcia, 2014; Matos et al., 2017). A inclusão de parâmetros relacionados à paisagem nos modelos de nicho, como a topografia, e parâmetros de solo, como a classificação, parâmetros físicos e a fertilidade química, tem apresentado resultados promissores, conforme pode ser verificado em Ray et al. (2016) e Guidigan et al. (2018). Parâmetros socioeconômicos e variáveis de produção também têm sido utilizados para espécies arbóreas de valor comercial, conforme apresentados por Ray et al. (2016) para *Hevea brasiliensis*. Matos et al. (2017) ressaltam a pertinência da abordagem multidisciplinar em estudos envolvendo a interação genótipo x ambiente x manejo, o que requer colaboração mais estreita entre as disciplinas, para melhor atender as demandas de pesquisa, inovação e formação de políticas públicas.

As camadas contendo as variáveis climáticas geradas com dados de estações meteorológicas locais, em ambiente SIG, com menor resolução espacial e escala semidetalhada, também permitirão evoluir as análises de predição de ocorrência das espécies e aproximar mais o modelo gerado com a realidade existente no campo.

A necessidade de aperfeiçoamento dos modelos atualmente existentes para a projeção de cenários futuros é apontada por Giannini et al. (2012), que sugere as seguintes linhas de ação para atendimento desta demanda: (i) melhorar o acesso e a eficiência na obtenção de dados de monitoramento ambiental; (ii) identificar os principais fatores bióticos e abióticos determinantes à ocorrência das espécies; (iii) incorporar a dinâmica de comportamento das comunidades florestais nos modelos; (iv) determinar a influência dos processos evolucionários na resposta das espécies às mudanças climáticas; (v) incluir regras, nos modelos globais, que definem os grupos funcionais das espécies.



Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo apoio concedido ao projeto Araucamate (código SEG 02.13.07.005.00.00).

Referências

- ALFARO, R. I.; FADY, B.; VENDRAMIN, G. G.; VENDRAMINI, G. G.; DAWSON, I. K.; FLEMING, R. A.; SÁENZ-ROMERO, C.; LINDIG-CISNEROS, R. A.; MURDOCK, T.; VINCETI, B.; NAVARRO, C. M.; SKOPPA, T.; BALDINELLI, G.; EL-KASSABY, Y. A.; LOO, J. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. **Forest Ecology and Management**, v. 333, p. 1-12, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.006>.
- DE MARCO JUNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, v. 5, n. 1-2, p. 65-76, 2009.
- DUTRA, T. L.; STRANZ, A. História das Araucariaceae: a contribuição dos fósseis para o entendimento das adaptações modernas da família no Hemisfério Sul, com vistas a seu manejo e conservação. In: RONCHI, L. H.; COELHO, O. G. W. (ed.). **Tecnologia diagnóstico e planejamento ambiental**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. p. 293-351.
- ELITH, J.; LEATHWICK, J. Predicting species distributions from museum and herbarium records using multiresponse models fitted with multivariate adaptive regression splines. **Diversity and Distributions**, v. 13, p. 265-275, 2007.
- FRITZSONS, E.; WREGGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. A distribuição natural do pinheiro-do-paraná no estado do Rio Grande do Sul, Brasil: a influência de fatores climáticos e geomorfológicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 117-132, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.51315>.
- GARCIA, K.; LASCO, R.; INES, A. Predicting geographic distribution and habitat suitability due to climate change of selected threatened forest tree species in the Philippines. **Applied Geography**, v. 44, p. 12-22, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.07.005>.
- GARCIA, K. Modelagem da aptidão climática do *Eucalyptus grandis* frente aos cenários de mudanças climáticas no Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 493-501, 2014.
- GIANNINI, T. C.; SIQUEIRA, M. F.; ACOSTA, A. L.; BARRETO, F. C. C.; SARAIVA, A. M.; SANTOS, I. A. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2175-78602012000300017>.
- GRINNELL, J. The niche-relationships of the California Thrasher. **Auk**, v. 34, p. 427-433, 1917.
- GUIDIGAN, M. L. G.; AZIHOU, F.; IDOHO, R.; OKHIMAMHE, A. A.; FANDOHAN, A. B.; SINSIN, B.; ADET, L. Modeling the current and future distribution of *Kigelia africana* under climate change in Benin, West Africa. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 4, n. 3, p. 1225-1238, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0491-4>.
- GUISAN, A.; BROENNIMANN, O.; ENGLER, R.; VUST, M.; YOCCOZ, N. G.; LEHMANN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Using niche-based models to improve the sampling of rare species. **Conservation Biology**, v. 20, n. 2, p. 501-511, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00354.x>.
- GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, v. 8, p. 993-1009, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>.
- HOCHACHKA, W.; CARUANA, R.; FINK, D.; MUNSON, A.; RIEDEWALD, M.; SOROKINA, D.; KELLING, S. Data mining for discovery of pattern and process in ecological systems. **Journal of Wildlife Management**, v. 71, p. 2427-2437, 2007.
- HOLT, R. D. Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: ecological and evolutionary perspectives. **Proceedure of National Academic Science**, v. 106, p. 19659-19665, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0905137106>.



HUECK, K. Distribuição e habitat natural do pinheiro do paraná (*Araucaria angustifolia*). **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Bot nica**, v. 10, p. 5-24, 1953. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2318-5988.v10i1>.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 22, p. 415-427, 1957.

IPCC 2012. Intergovernmental Panel on Climate Change 2012. **Climate change: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 2013. 1535 p. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC 2013. Intergovernmental Panel on Climate Change 2013. **Climate change: 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324>.

IUCN Red List of Threatened Species. **Red list**: version 2016-3. Disponível em: www.iucnredlist.org. Acesso em: 18 fev. 2017.

JAMES, F. C.; JOHNSTON, R. F.; WARNER, N. O.; NIEMI, G.; BOECKLEN, W. The Grinnelian niche of the Wood Thrush. **American Naturalist**, v. 124, p. 17-47, 1984.

LEE-YAW, J. A.; KHAROUBA, H. M.; BONTRAGER, M.; MAHONY, C.; CSERG , NOREEN, A. M. E.; LI, Q.; SHUSTER, R.; ANGERT, A. L. A. Synthesis of transplant experiments and ecological niche models suggests that range limits are often nicht limits. **Ecology Letters**, v. 19, p. 710-722, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12604>.

MATOS, M. de F. da S.; SCARANTE, A.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; WREGE, M. S. Distribui o de *Handroanthus impetiginosus* no Brasil e as proje oes futuras conforme as mudanças climáticas globais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20.; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICA O DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 5., 2017, Juazeiro, Petrolina. **A agrometeorologia na soluço de problemas multiescala**: anais. Petrolina: Embrapa Semiárido: UNIVASF, 2017.

MENON, S.; CHOUDHURY, B. I.; KHAN, M. L.; PETERSON, A. T. Ecological niche modeling and local knowledge predict new populations of *Gymnocladus assamicus* a critically endangered tree species. **Endangered Species Research**, v. 11, p. 175-181, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3354/esr00275>.

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Sumário executivo do v. 1**: base científica das mudanças climáticas. Rio de Janeiro, 2012. 34 p.

PEARSON, R. G.; RAXWORTHY, C. J.; NAKAMURA, M.; PETERSON, A. T. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in madagascar. **Journal of Biogeography**, v. 34, p. 102-117, 2007.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. **Quarterly Review of Biology**, v. 78, p. 419-433, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1086/378926>.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231-259, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.

QUEIROZ, D. L.; WREGE, M. S.; K NAST, T. B. S.; GARRASTAZU, M. C.; BURKHARDT, D. Potential distribution of the guava psyllid *Triozioida limbata* (Hemiptera, Psylloidea), today and in global climate change scenarios. **Turkish Journal of Zoology**, v. 42, p. 330-336, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3906/zoo-1709-21>.

RAY, D.; BEHERA, M. D.; JACOB, J. Predicting the distribution of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) through ecological niche modeling with climate, soil, topography and socioeconomic factors. **Ecological Resource**, v. 31, n. 75, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-015-1318-7>.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, v. 34/35, n. 34/35, p. 5-483, 1983. Anais Bot nicos do Herbário Barbosa Rodrigues.

ROBERTSON, M. P.; PETER, C. I.; VILLET, M. H.; RIPLEY, B. S. Comparing models for predicting species' potential distributions: a case study using correlative and mechanistic predictive modelling techniques. **Ecological Modelling**, v. 164, n. 2-3, p. 153-167, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00028-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00028-0).



- SCARANTE, A. G.; MATOS, M. D. F. D. S.; SOARES, M. T.; AGUIAR, A. V. de; WREGE, M. S. Distribution of *Handroanthus heptaphyllus* in Brazil and future projections according to global climate change. **Revista Geama**, v. 3, n. 4, p. 201-209, 2017.
- SEXTON, J. P.; MCINTYRE, P. J.; ANGERT, A. L.; RICE, K. J. Evolution and ecology of species range limits. **Annual Review Evolution System**, p. 415-436, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120317>.
- SHINNEMAN, D. J.; MEANS, R. E.; POTTER, K. M.; HIPKINS, V. D. Exploring climate niches of ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson) haplotypes in the western United States: implications for evolutionary history and conservation. **PLoS One**, v. 11, e0151811, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151811>.
- SIQUEIRA, M. F.; DURIGAN, G.; MARCO JÚNIOR, P. de; PETERSON, A. T. Something from nothing: using landscape similarity and ecological niche modeling to find rare plant species. **Journal for Nature Conservation**, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2008.11.001>.
- SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2003.
- SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 1-10, 2005.
- SOUSA, V. A.; RICHARDS, C. M. Genetic diversity and biogeographic determinants of population structure in *Araucaria angustifolia* Bert. O Ktze. In: WORKSHOP OF EMBRAPA'S SCIENTISTS IN USA, 1., 2011, Fort Collins. **Meeting abstract**. Fort Collins: USDA, Agricultural Research Service, 2011. p. 37.
- STOCKWELL, D. R. B.; PETERSON, A. T. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. **Ecological Modelling**, v. 148, p. 1-13, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00388-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00388-X).
- SUAREZ-SEOANE, S.; OSBORNE, P. E.; ALONSO, J. C. Largescale habitat selection by agricultural steppe birds in Spain: identifying species-habitat responses using generalized additive models. **Journal of Applied Ecology**, v. 39, p. 755-771, 2002.
- THUILLER, W. BiomoD: optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. **Global Change Biology**, v. 9, p. 1353-1362, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00666.x>.
- 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, Vitória. **Anais [...]**. Vitória: SBAGRO, 2011. v. 1. p. 1-5.
- WIENS, J. J. The niche, biogeography and species interactions. **Philosophical Transactions of The Royal Society**, v. 366, p. 2336-2350, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0059>.
- WISZ, M. S.; HIJMANS, R. J.; LI, J.; PETERSON, A. T.; GRAHAM, C. H.; GUIBAN, A. Effects of sample size on the performance of species distribution models. **Diversity and Distributions**, v. 14, p. 763-773, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>.
- WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A.; SOUSA, L. P. de; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V.; GOMES, G. C.; MATOS, M. de F. da S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, p. 331, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1413>.
- 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.
- WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; BRITEZ, R. M.; GARRASTAZU, M. C.; SOUSA, V. A.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; BRAGA, H. J. Climate change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Unasyuva**, v. 60, p. 30-33, 2009.
- WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; 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.



6

Atributos dos solos em Florestas com Araucária

Márcia Toffani Simão Soares
Itamar Antônio Bognola
Krisle da Silva
George Gardner Brown
Antônio Francisco Jurado Bellote
Celso Garcia Auer
Ananda Virgínia de Aguiar
João Bosco Vasconcellos Gomes

Introdução

A área de abrangência natural das Florestas com Araucária apresentou fundamental importância para o desenvolvimento do setor florestal no Brasil, tendo sido, até a década de 1970, o principal polo produtor madeireiro do País. A intensa atividade madeireira da região foi iniciada por volta da década de 1870, no Planalto de Curitiba (Figura 1), com base na exploração das reservas nativas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Na época, a araucária constituía-se na principal espécie madeirável do País, devido à abundância de suas reservas naturais, pela reconhecida qualidade da madeira e pela grande demanda dos mercados interno e externo (Carvalho; Nodari, 2010).



Figura 1. População natural em ambiente altimontano, Parque Nacional do Itatiaia, na divisa entre Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

Com o esgotamento das reservas naturais a partir de 1940, surgiram as iniciativas voltadas ao “reflorestamento” da espécie, com o estabelecimento de monocultivos (Carvalho; Nodari, 2010). Todavia, o elevado custo inicial para a implantação dos povoamentos (Fupef, 1978) e o conhecimento insuficiente acerca dos requisitos de sítio para o bom desenvolvimento da cultura culminaram em resultados insatisfatórios de muitas destas iniciativas (Hoogh; Dietrich, 1979), resultando em uma fraca difusão da atividade entre as empresas de base florestal que, como consequência, priorizaram o plantio de espécies exóticas.

Informações que subsidiem uma criteriosa seleção de sítios e a definição de práticas silviculturais poderão ampliar as chances de sucesso ao estabelecimento de sistemas de produção com uso da espécie, bem como o alcance de uma produtividade sustentável sob o aspecto econômico, social e ambiental, especialmente em áreas acidentadas, caracterizadas pela fragilidade e baixa resiliência a intervenções antrópicas não planejadas.

O presente capítulo apresenta uma síntese dos principais parâmetros edáficos relacionados à ocorrência e ao desenvolvimento da araucária, considerando os atributos morfológicos, físico-hídricos, químicos e biológicos do solo. As informações aqui levantadas visam orientar pautas de pesquisa e inovação relativas à relação espécie-ambiente, com foco no potencial de produção de madeira e subprodutos, concomitante à conservação da integridade e resiliência de suas populações.



Atributos físico-hídricos e morfológicos do solo

As populações naturais da araucária (Figura 1) possuem área de abrangência potencial compreendida entre 29 e 37 milhões de ha (Wrege et al., 2017), distribuídas sobre ampla gama de classes de solos (Silva et al., 2001), desde os menos férteis, como os derivados do arenito, até os mais férteis derivados do basalto. É conhecida a exigência da espécie quanto aos fatores relacionados às condições e atributos do solo, quando comparada a outras espécies florestais exóticas de rápido crescimento (Carvalho, 2003; Aquino, 2005; Koehler et al., 2010).

Documentos técnicos produzidos na década de 1970 apontaram que maiores produtividades em volume de madeira da espécie são geralmente obtidas em solos argilosos ou franco-argilosos, profundos, porosos, bem drenados e com boa capacidade de retenção de água (Golfari, 1970; Lassere et al., 1972; Hoogh; Dietrich, 1979). Embora muitas dessas observações sejam corroboradas por estudos conduzidos nas últimas décadas (Gerhardt et al., 2001; Silva et al., 2001; Santos et al., 2010; Marcondes et al., 2016), verifica-se também certa preocupação com a necessidade de ampliação dos esforços de pesquisa com foco na relação entre a espécie, atributos físico-hídricos e morfológicos do solo (Mósen; Dillenburg, 2004, Sampaio; Guarino, 2007; Korndörfer, 2007; Körndorfer et al., 2008). A compactação, a drenagem deficiente, a porosidade limitada e impedimentos mecânicos foram apontados como condições que podem prejudicar o desenvolvimento de raízes da espécie, em revisão realizada por Silva et al. (2001). Na região Sul do Brasil, onde fragmentos de Floresta Ombrófila Mista são frequentemente utilizados como áreas de pastoreio para bovinos, Sampaio e Guarino (2007) observaram que áreas sob alta intensidade de pastejo apresentam solos mais compactados quando comparados aos solos de áreas sob baixa intensidade. Segundo os autores, a compactação poderia influenciar negativamente a germinação de sementes e o estabelecimento de plântulas no campo. Mósen e Dillenburg (2004), ao avaliarem o desenvolvimento inicial da espécie sob compactação e estresse hídrico, verificaram alteração da morfologia radicular e restrições ao crescimento da araucária submetida a estes dois fatores estressores. Para espécies exóticas, em sistemas intensivos de manejo, são conhecidos tanto os benefícios como os impactos relacionados à mecanização florestal, com implicações na porosidade, na densidade e na compactação (Szymczak et al., 2014; Sampietro et al., 2015) do solo. Os resultados referentes à mecanização em sistemas com araucária são, todavia, restritos e focados essencialmente nos aspectos operacionais (Gerhardt; Sá, 2017).

Quanto aos parâmetros morfológicos do solo, Marcondes et al. (2016) relacionam a distribuição de populações nativas da espécie no Paraná à ocorrência de solos profundos, predominantemente. Nestas condições são favorecidas a maior retenção de umidade no solo, desejável para a espécie conforme enfatizam Golfari (1970) e Lassere et al. (1972). A profundidade do horizonte A do solo também foi apontado por Van der Vliet (1958), Reissmann et al. (1987) e Fernandez (1989) como um atributo de significativa importância para o desenvolvimento da espécie, fato que pode ser atribuído aos benefícios da matéria orgânica concentrada nesta camada, muitas vezes associada a condições menos favoráveis àquela de oxidação das frações de carbono do solo. O lençol freático raso, por outro lado, é apontado por Bolfoni et al. (1980) como uma condição que pode prejudicar o desenvolvimento de raízes da espécie.

Gerhardt et al. (2001), na tentativa de classificarem sítios de produção na Floresta Nacional de Canela, RS, verificaram que, nas planícies e partes inferiores de encostas com solos profundos, siltosos ou arenosos, e com altos teores de cálcio na serapilheira, ocorreram maiores incrementos médios anuais em altura das árvores. Santos et al. (2010), em um teste de procedências de araucária no município de Rio Negro, PR, também verificaram que os parâmetros morfológicos do



solo podem explicar, em média, 41,6% da variação de parâmetros dendrométricos. Neste estudo, os autores consideraram sítios de pior qualidade áreas com declividade superior a 10%, solos com profundidade inferior a 1 m, com condições físicas (densidade, macroporosidade, granulometria) limitantes e pobres quimicamente.

Analogamente, com base no comportamento silvicultural da espécie em solos nas regiões bioclimáticas 1 e 2 do Paraná, Silva et al. (2001) classificaram como de menor potencial produtivo os Neossolos Litólicos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados geralmente a relevos mais declivosos (Tabela 1). Importante salientar que, neste estudo, a área avaliada foi pequena quando considerada a abrangência geográfica da espécie.

Tabela 1. Potencialidades para reflorestamento com *A. angustifolia* em solos dos municípios de Laranjeiras do Sul, Quedas do Iguaçu e Cascavel, Paraná¹.

Potencial produtivo	Classes de solo
Alto	Latossolos Vermelhos Distroférricos e Nitossolos Vermelhos Eutroférricos
Médio	Nitossolos Vermelhos Distroférricos e os Nitossolos Háplicos Distroférricos ou Eutroférricos
Baixo	Neossolos Litólicos Eutróficos
Sem aptidão	Gleissolos Háplicos

Fonte: Silva et al. (2001).

Em relação à adaptação da espécie em diferentes profundidades efetivas do solo, Korndörfer (2007) e Korndörfer et al. (2008) observaram que a araucária, durante os dez meses após transplante, possui capacidade de desenvolver um sistema radicular compensatório, com condições de ancorar e suprir a planta adequadamente com água e nutrientes sob condições de pouco espaço vertical para o enraizamento da raiz principal. Nos estágios mais avançados de desenvolvimento da espécie, a arquitetura do sistema radicular, do tipo pivotante, pode conferir restrições ao seu desenvolvimento em solos rasos (Silva et al., 2001; Puchalski et al., 2006). Gerhard et al. (2001) relatam que as raízes da espécie podem alcançar de 2-4 m de profundidade, todavia, é importante salientar a escassez de estudos relacionando profundidade de raízes e desenvolvimento das plantas, conforme apontado por Korndörfer et al. (2008). Para a seleção de plantas adaptadas às diferentes condições e estresses ambientais é importante considerar que a distribuição (Gonçalves; Mello, 2000), o desenvolvimento e a funcionalidade nutricional das raízes (Oliveira et al., 2006; Silva et al., 2007; Velmala et al., 2013) podem sofrer forte controle genético. Assim como pesquisas envolvendo espécies de interesse agrícola (Borriello et al., 2012; Rukundo et al., 2017; Wang; Qin, 2017), o uso de técnicas e ferramentas avançadas de análises, como marcadores moleculares e modelos genético-estatísticos, poderão contribuir significativamente com a estimativa da herdabilidade e controle destes caracteres, em estudos ecológicos e aplicados ao melhoramento genético.

Atributos químicos do solo e ambiente nutricional das Florestas com Araucária

Os relatos na literatura sobre a importância da fertilidade do solo para o desenvolvimento e a qualidade da madeira de araucária são verificados especialmente a partir da década de 1970 (Golfari, 1970; La Bastide; Van Goor, 1970; Simões; Couto, 1973; Simões et al., 1973; Dietrich,

1977; Golfari et al., 1978; Hoogh; Dietrich, 1979; Hoogh et al., 1980; Reissmann et al., 1987; Fernandez, 1989), com resultados apontando o melhor desempenho da espécie em plantios sobre solos recém-desmatados, com pH abaixo de 6,0 e condições físicas e morfológicas do solo conforme apresentado no item 2 deste capítulo. São ainda verificadas importantes contribuições ao estudo da essencialidade de macro nutrientes para o desenvolvimento das plantas (Simões; Couto, 1973), da relativa tolerância da espécie ao alumínio (Simões et al., 1973), da potencial necessidade da adoção do manejo químico do solo em plantios de áreas com baixa fertilidade (Hoogh et al., 1980) e da preocupação com o estabelecimento de uma abordagem multidisciplinar voltada à compreensão dos processos ecológicos envolvidos na dinâmica e no ambiente nutricional da espécie (Hoogh; Dietrich, 1979; Fernandez, 1989). Pesquisas mais recentes comparando diferentes condições ambientais e sistema de produção, com o auxílio de técnicas estatísticas multivariadas, têm ratificado algumas das informações obtidas no passado, bem como auxiliado no preenchimento das lacunas no conhecimento acerca do comportamento e do ambiente nutricional de populações naturais e implantadas, evidenciando, não obstante, a necessidade de estudos adicionais voltados ao seu manejo silvicultural (vide item 5 deste capítulo), que contemple as relações entre diversidade genética (Sebbenn et al., 2003a, 2003b, 2003c; Sebbenn et al., 2004; Silva, 2016; Machado, 2018; Moraes, 2017; Silva et al., 2018), atributos edafoclimáticos, demandas nutricionais em diferentes sistemas de produção (Figura 2) e os diferentes produtos ofertados pela espécie, com consequente ampliação de nichos de mercado.

Fotos: Ananda Virginia Aguiar (A, B), Márcia Toffani Simão Soares (C),
Guilherme de Castro Andrade (D), Antônio Francisco Jurado Bellote (E)



Figura 2. Diferentes aspectos da pesquisa com *Araucaria angustifolia*. Progenies de *Araucaria angustifolia* estabelecidas em sistema silvopastoril, em Ponta Grossa, PR (A), Curitiba, SC (B) e em Colombo, PR (C). Amostragem de tecido foliar (D) e discos (E), para avaliação do estado nutricional e do estoque de nutrientes na biomassa do tronco em Itapeva, SP.



Estudos realizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil evidenciam que as relações entre parâmetros químicos de solo e o desenvolvimento da espécie variam significativamente em função dos atributos e condições dos solos e do manejo estabelecido. Em um teste de procedências de araucária instalado no município de Rio Negro, PR, Santos et al. (2010) verificaram que o nitrogênio e o cálcio foram apontados como os nutrientes de maior importância ao desenvolvimento da espécie. Em diferentes condições ambientais do Rio Grande do Sul, a relação entre crescimento da espécie e parâmetros nutricionais foram estudados por Hoppe e Caldeira (2003a, 2003b), Hess (2006) e Hess et al. (2009). Em povoamentos de *A. angustifolia* com 29 anos de idade, estabelecidos na Floresta Nacional de Passo Fundo, RS, Hoppe e Caldeira (2003a, 2003b) verificaram correlação simples positiva entre a altura das árvores e os teores de Cu e B no tecido foliar das plantas e entre o incremento corrente do último ano (ICA) e os teores de N e de Al no solo.

Em fragmentos de floresta nativa do Planalto Catarinense, Minatti (2015) também registrou variações importantes dos parâmetros de solo em função da região estudada. Na região de São Joaquim, caracterizada por maiores altitudes, relevo forte ondulado e predominância da associação de Neossolos Litólicos e Cambissolos originados de rochas básicas da Formação Serra Geral, o autor relata incremento médio de 0,340 cm ano⁻¹, positivamente correlacionado com teores trocáveis de Ca, Al, soma de bases e matéria orgânica. Em Urupema, região caracterizada por relevo ondulado, ocorrência da associação de Cambissolos Húmicos + Neossolo Litólico + Nitossolo Bruno, e pelo maior incremento médio observado no estudo (0,686 cm ano⁻¹), o autor verificou correlação positiva desta variável com o pH, Mg trocáveis, matéria orgânica, carbono orgânico, P, K trocável e fração areia. Por fim, no município de Paineira, em região de relevo suave ondulado, ocorrência de Neossolos Litólicos + Cambissolos Háplicos e com incremento médio de 0,903 cm ano⁻¹, Minatti (2015) verificou correlação positiva apenas com a CTC efetiva. Em plantios estabelecidos em diferentes locais das regiões Sul e Sudeste do País, Iceri e Bellote (2008) também verificaram a exigência da espécie por P, K, Ca e Mg.

A ampla variação verificada nos diferentes estudos e o registro de resultados muitas vezes contraditórios entre si podem ser atribuídos à diversidade observada nas condições de clima e solo dos sistemas florestais estudados, bem como à variabilidade do material genético, idade da planta e práticas silviculturais adotadas. Sob o aspecto químico, os resultados obtidos até o presente momento apontam o importante papel desempenhado pela matéria orgânica do solo para a disponibilidade de nutrientes e para a nutrição da espécie, podendo colaborar, significativamente, para a compreensão e o manejo de diferentes ambientes nutricionais, em função do histórico de uso e da modalidade de plantio (puro ou consorciado) (Ilany et al., 2010; Bertini et al., 2015).

Dentre os inúmeros processos do solo nos quais a matéria orgânica está envolvida, sob o aspecto nutricional merece atenção a estreita relação com os potenciais de mineralização de nitrogênio, dependentes da quantidade e qualidade de material orgânico aportado ao solo (Gonçalves et al., 2001; Garbin et al., 2006), de sua labilidade ou recalcitrância (Liu et al., 2017), da atividade microbiana do solo e de variáveis climáticas (Liu et al., 2017), modificando a capacidade intrínseca de cada solo de fornecer N para as plantas (Yagi et al., 2009). Garbin et al. (2006), no domínio da Floresta Ombrófila Mista, no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP, verificaram diferenças marcantes na forma de N mineral disponível no solo, em função da cobertura florestal, sendo o nitrato a principal forma de N na floresta de araucária nativa, e o amônio a principal forma de nitrogênio em áreas sob campo nativo e plantio de pinus. Quando sob fertilização nitrogenada, as respostas da planta verificadas em literatura são divergentes (Simões; Couto, 1973; Hoogh et al., 1980; Fernández et al., 2000; Martiarena et al., 2002), fato que reforça a importância de serem ampliados os estudos voltados ao manejo da fertilidade do solo, para o desenvolvimento da espécie.



Importância da microbiota do solo para a produção e qualidade ambiental das Florestas com Araucária

Os microrganismos do solo são de extrema importância para o funcionamento, regulação, manutenção e produtividade dos ecossistemas terrestres, estando relacionados a diversos processos ecológicos, tais como a formação de solos, a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de carbono e de nutrientes. Muitos microrganismos que habitam o solo interagem de forma mutualística com plantas, promovendo o desenvolvimento vegetal e auxiliando, além da nutrição vegetal, na indução da resistência sistêmica contra patógenos e estresses abióticos, ampliando desta forma as chances de sobrevivência das mudas no campo após transplante, entre outros aspectos positivos. O conhecimento dessa interação benéfica entre plantas e microrganismos é de grande importância para a sustentabilidade da produção vegetal, com potencial de ampliação da capacidade de resiliência dos agroecossistemas, concomitante à possibilidade de redução de impactos negativos relacionados ao uso e à dependência de insumos externos às propriedades rurais.

A utilização de microrganismos como promotores de crescimento tem demonstrado casos de sucesso em espécies produtoras de grãos, principalmente com as bactérias fixadoras de nitrogênio. Em áreas sob plantio florestal, entretanto, seu uso é escasso, embora seja relatada na literatura grande potencial de emprego voltado ao desenvolvimento de espécies arbóreas nativas e exóticas, especialmente na fase de produção de mudas (Silva et al., 2014, 2017; Monteiro et al., 2017; Soares et al., 2017). A araucária parece se beneficiar da associação com microrganismos do solo, principalmente com fungos micorrízicos (FM) e bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCP), conforme relatado a seguir.

Associação entre fungos micorrízicos e araucária

As raízes da araucária são altamente colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares, denominados de FMA (Moreira et al., 2016), conforme a Figura 3. Estes fungos pertencem ao Filo *Glomeromycota*, Classe *Glomeromycetes* (Redecker et al., 2013), são asseptados, colonizando as células do córtex inter e intracelularmente (Figura 3B), formando esporos (Figura 3C), arbúsculos (Figura 3D) e em alguns grupos também são formadas as vesículas (Figura 3E) (Moreira; Siqueira, 2006). Os arbúsculos são os principais locais de troca de metabólitos, enquanto as vesículas são estruturas ricas em lipídeos com função, provavelmente, de armazenamento (Smith; Read, 1997).

Os FMs são biotróficos obrigatórios, propagando-se somente quando associados com raízes de plantas vivas (Moreira; Siqueira, 2006). Cerca de 80% das plantas terrestres formam simbioses com fungos micorrízicos (Schüßler et al., 2001), tendo papel importante em diversos processos ecológicos do solo, bem como para a sobrevivência, nutrição e resistência da planta a estresses bióticos e abióticos.

O primeiro relato sobre a ocorrência de FM em raízes de coníferas nativas foi publicado na década de 1950, quando foi observada a presença de estruturas fúngicas em cortes anatômicos de raízes de araucária (Milanez; Monteiro Neto, 1950; Oliveira; Ventura, 1952) e de *Podocarpus lambertii* (Oliveira; Ventura, 1952). Os gêneros mais comuns de FM em associação com *A. angustifolia* são *Glomus* e *Acaulospora* (Moreira et al., 2007a, 2007b, 2009, 2015; Zandavalli et al., 2008; Vilcatoma-Medina et al., 2018), sendo que quase 30 espécies de FM foram associadas à araucária, até o presente momento (Moreira et al., 2016).

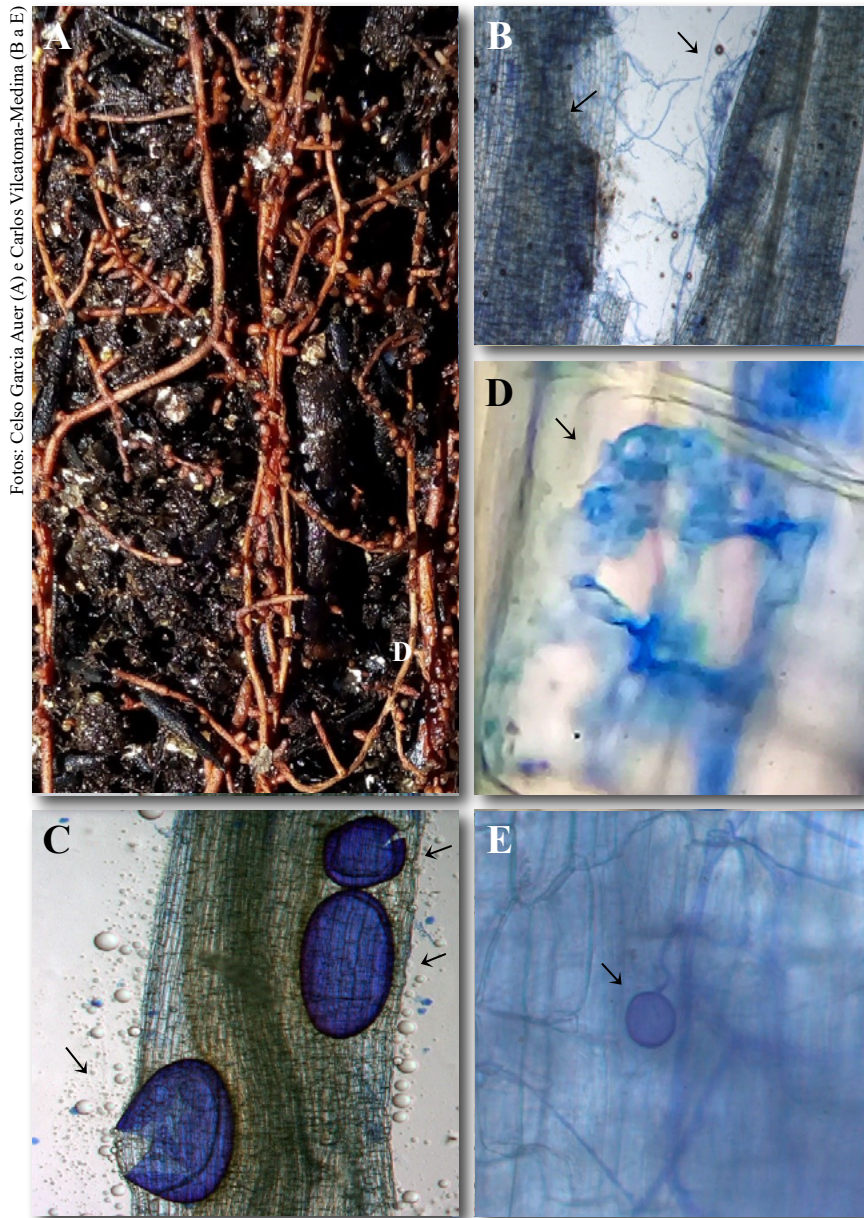


Figura 3. Raízes de *Araucaria angustifolia* aos dois anos de idade, infectadas por fungos micorrízicos (A-D). Detalhes da colonização radicial por hifas (B), esporos (C), arbúsculo (D) e vesícula (E).

Os poucos estudos sobre a dependência ou eficiência micorrízica da espécie são promissores no tocante ao potencial uso de inoculante, especialmente para a produção de mudas (Moreira-Souza; Cardoso, 2002; Zandavalli et al., 2004). Moreira-Souza; Cardoso (2002), em casa de vegetação, usando quatro doses de P (0 mg kg^{-1} , 20 mg kg^{-1} , 50 mg kg^{-1} e 150 mg kg^{-1}) e inoculação dos FMs *Glomus intraradices* e *Gigaspora rósea* ou FMs nativos em araucária, verificaram a dependência micorrízica da espécie em todas as doses avaliadas de P, bem como maiores teores de P no tecido foliar das mudas micorrizadas, quando comparadas àquelas não-micorrizadas, independente da espécie de FM utilizada. Zandavalli et al. (2004) também verificaram incrementos significativos na biomassa vegetal de mudas de araucária submetidas à inoculação de *Glomus clarum*, quando



comparadas às mudas não inoculadas, sob taxas de colonização radicular de 81%. Assim, a colonização e incrementos na produção vegetal em plantas micorrizadas é um fator que deve ser considerado em sistemas de produção de mudas e no reflorestamento com araucária, sendo apontadas por Vilcatoma-Medina et al. (2018) as espécies do gênero *Glomus* como sendo as mais promissoras com inoculantes para a espécie. É importante salientar que, para o estabelecimento de protocolos de inoculação de mudas, torna-se ainda necessária a seleção de fungos eficientes para a promoção do desenvolvimento vegetal, visto ainda não existirem inoculantes de FMs selecionados e prontamente disponíveis para aplicação na produção de mudas desta espécie, o que torna esta técnica biotecnológica ainda restrita aos centros de pesquisa. Assim, o desenvolvimento de inoculantes de FM para mudas de espécies arbóreas é possível, tal como em espécies herbáceas e de ciclo curto, deve ser melhor explorado.

Associação de Bactérias Promotoras de Crescimento (BPCP) com araucária

Bactérias que colonizam raízes ou habitam a rizosfera e promovem o crescimento vegetal são conhecidas como BPCP (Kloepper; Schroth, 1978). As BPCPs podem atuar no crescimento vegetal a partir de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfatos, produção de fitormônios, produção de sideróforos, indução de resistência sistêmica etc. Também foi verificado que estas podem estimular a micorrização (Ribeiro et al., 2015).

Assim como ocorre para FM, são escassas as informações referentes à associação entre BPCP e a araucária. Um estudo pioneiro, realizado por Ribeiro e Cardoso (2012) com BPCP, isolou 96 bactérias a partir de raízes de araucária. Os isolados bacterianos, identificados pelos autores como pertencentes aos gêneros *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Ewingella* e *Bacillus*, apresentaram vários mecanismos de promoção de crescimento vegetal, como solubilização de fosfato, produção de fitormônios (Gumiere et al., 2014), produção de sideróforos, efeito antagonista a *Fusarium oxysporum* e fixação biológica de nitrogênio (Ribeiro; Cardoso, 2012).

Apesar do isolamento de bactérias a partir de amostras de raízes da araucária, não há relatos na literatura sobre os efeitos da inoculação de BPCP com espécies bacterianas mais promissoras, sendo ainda desconhecidos seus resultados efetivos na promoção do crescimento de espécies.

Interações entre microbiota e a fauna do solo

A atividade e composição da microbiota do solo podem ser influenciadas pela comunidade de invertebrados do solo (Scheu et al., 2005) de diversas formas, tais como pela promoção da atividade de microrganismos sinérgicos às plantas (Zhang et al., 2016), pela excreção de dejetos ricos em matéria orgânica e pela alteração da disponibilidade de nutrientes no solo (Bardgett et al., 1998). Apesar do interesse científico no tema, os processos envolvidos e as respostas das espécies vegetais a estas interações são muito pouco elucidados (Medina-Sauza et al., 2019). Em um estudo inédito, conduzido em condições de casa de vegetação, Azevedo (2010) avaliou o desempenho de mudas de araucária sob inoculação envolvendo minhocas (*Amyntas corticis*), FM (*Gigaspora rosea*) e um isolado de bactéria diazotrófica. A autora verificou interação significativa da inoculação destes três organismos sobre a biomassa da parte aérea, bem como a tendência de uma menor produção de biomassa em plantas estabelecidas em vasos inoculados com minhocas. O resultado difere da maioria dos estudos revisados por Brown et al. (1999) e Scheu et al. (2005), aos quais a presença de minhocas no meio de crescimento aumentou a produção de biomassa



de diferentes espécies vegetais. Importante salientar que a baixa sobrevivência das minhocas na pesquisa conduzida por Azevedo (2010) pode ter sido resultante de condições inadequadas para a atividade destes organismos nos substratos utilizados, dificultando a generalização dos resultados obtidos. Maiores esforços de pesquisa são necessários, considerando o importante efeito desses organismos (micorrizas, bactérias e fauna edáfica como as minhocas), de forma individual ou conjunta, no crescimento das mudas de araucária.

Solos sob araucária: desafios para a pesquisa

A ocorrência da araucária na região Sul do Brasil foi um dos fatores que mais contribuiu para o desenvolvimento socioeconômico, principalmente pela rápida aceitação de sua madeira no mercado. Na atualidade, essa espécie tem sido relegada ao segundo plano nos programas de florestas plantadas, onde predominam espécies arbóreas introduzidas (exóticas).

Conforme discutido no presente capítulo, a araucária é uma espécie exigente quanto à qualidade do solo, particularmente no que se refere às suas propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas. Apesar do conhecimento acumulado até o presente momento sobre a espécie, ainda existem lacunas conceituais a serem preenchidas para embasamento de critérios e técnicas de manejo e uso do solo voltadas ao aproveitamento econômico e à conservação da espécie. As sugestões de pesquisas descritas a seguir constituem num elenco de propostas destinadas a ampliar a compreensão sobre a relação espécie-ambiente, contribuir com o desenvolvimento de técnicas para o plantio da espécie em diferentes sistemas de manejo, propiciar o aumento de sua produtividade em níveis iguais ou superiores às coníferas exóticas e assegurar seu uso com sucesso em programas de reflorestamento. Desta forma, os seguintes desafios científicos e tecnológicos são considerados:

- A seleção de procedências e, ou progênies (indivíduos) mais aptos às diferentes condições de solo e de clima, por meio de estudos focados na interação genótipo x ambiente.
- A discriminação de parâmetros de paisagem e de atributos morfológicos, químicos e físico-hídricos dos solos relacionados (i) à ocorrência natural da espécie, (ii) ao seu potencial de produção de madeira e subprodutos, (iii) à integridade e resiliência dos sítios voltados à produção e à conservação da espécie, em diferentes condições de solo e de clima.
- Quanto à avaliação da fertilidade do solo, é importante a definição de parâmetros compatíveis com a exigência nutricional da espécie, com ênfase: (i) no aprimoramento de metodologia de coleta de amostras de tecido vegetal e solo; (ii) no estabelecimento de níveis críticos, no solo, de matéria orgânica e elementos minerais, bem como de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais das árvores.
- Estudo das relações entre o crescimento e a marcha de absorção de nutrientes da espécie.
- Implicações da ciclagem biogeoquímica de nutrientes na produtividade e na sustentabilidade dos povoamentos no médio e longo prazos, abrangendo populações nativas e plantios conduzidos sob diferentes sistemas de manejo.
- Estudo da importância funcional da fauna do solo nas Florestas com Araucária, relacionada à produtividade e resiliência do sistema de produção.
- Ampliação dos estudos sobre dependência e, ou eficiência micorrízica de FM em diferentes genótipos, voltado ao desenvolvimento de técnicas de inoculação.
- Viabilização da coinoculação de BPCP associado a FM, em viveiros de mudas.
- Definição de protocolos de manejo de solo e de fertilização orgânica e, ou mineral (doses, formas e épocas de aplicação) para diferentes condições de solo e de clima.



- Para todos os desafios propostos, o uso de material genético advindos de mudas seminais de polinização controlada e, ou clonais (estaquias), a fim de garantir um controle maior do efeito genético e maior acurácia na estimativa dos efeitos de manejo e ambiente.
- Estimular a formação de grupos de trabalho para um maior intercâmbio técnico e científico.

A presente lista, não exaustiva, visa direcionar esforços na busca de estratégias de conservação e aproveitamento econômico de um componente da biodiversidade brasileira, com potenciais implicações multisetoriais e multiescalas no médio e longo prazos, tais como a diversificação econômica, a inserção de novos agentes na cadeia produtiva de madeira e subprodutos, a maior resiliência e manutenção de serviços ecossistêmicos dos sistemas florestais e o fortalecimento da silvicultura nacional, em um mercado internacional cada vez mais competitivo e exigente quanto a critérios sociais e ambientais.

Referências

- AQUINO, F. M. **Cultivo da *Araucaria angustifolia***: viabilidade econômico-financeira e alternativas de incentivo. Florianópolis: Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul, 2005. 53 p.
- AZEVEDO, P. T. M. **Minhocas, fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em mudas de *Araucaria angustifolia***. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BARDGETT, R. D.; KEILLER, S.; COOK, R.; GILBURN, A. S. Dynamic interactions between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 4, p. 531-539, 1998.
- BERTINI, S. C. B.; AZEVEDO, L. C. B.; STROMBERGER, M. E.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil properties discriminating *Araucaria* forests with different disturbance levels. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4, p. 194, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4398-5>.
- BOLFONI, D.; GALVÃO, F.; DURLO, M. A. Influência da profundidade do lençol freático no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 4., 1980, Nova Prata. **Anais [...]**. Nova Prata: Prefeitura Municipal de Nova Prata, 1980. p. 104-112.
- BROWN, G. G.; PASHANASI, B.; VILLENAVE, C.; PATRÓN, J. C.; SENAPATI, B. K.; GIRI, S.; BAROIS, I.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; BLAKEMORE, R. J.; SPAIN, A. V.; BOYER, J. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. F. (ed.). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. Wallingford: CAB International, 1999. p. 87-147.
- CARVALHO, M.; NODARI, E. As fases da exploração madeireira na floresta com araucária e os progressivos avanços da indústria madeireira sobre as florestas primárias (1870-1970). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA AMBIENTAL E MIGRAÇÕES, 2010, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em História da UFSC, 2010. p. 707-726.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**: recomendações silviculturais de espécies florestais. Colombo: EMPRABA-CNPq; Brasília. DF: EMBRAPA-SPI, 2003. v. 1. 1039 p.
- DIETRICH, A. B. Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. **Floresta**, v. 8, n. 1, 1977.
- FERNANDEZ, R. A. **Identificação dos atributos do solo determinante da qualidade de sítio para *Araucaria angustifolia*, com apoio na metodologia da análise estrutural**. 1989. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FERNÁNDEZ, R.; RODRIGUEZ ASPILLAGA, F.; LUPI, A.; LÓPEZ, E.; PEZZUTTI, R.; CRECHI, E.; CORTEZ, P. **Respuesta del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K en la implantación**. Virasoro, Corrientes: Asociación Forestal Argentina, 2000.



FUPEF. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Inventário florestal do pinheiro no Sul do Brasil**: relatório final. Curitiba: FUPEF: IBDF, 1978. 327 p.

GARBIN, M. L.; ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R. Soil patches of inorganic nitrogen in subtropical Brazilian plant communities with *Araucaria angustifolia*. **Plant and Soil**, v. 286, n. 1-2, p. 323-337, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9046-y>.

GERHARDT, E. J.; GUIMARÃES FINGER, C. A.; LONGHI, S. J.; SCHUMACHER, M. V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, 2001.

GERHARDT, M.; SÁ, D. N. O Monocultivo da *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Passo Fundo, Brasil (1947-1960). **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de La Solcha**, v. 7, n. 1, p. 42-57, 2017.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zonamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Brasília, DF: PRODEPEF, Ministério da Agricultura, 1978. 66 p. (Série técnica, 11).

GOLFARI, L. **Conifers suitable for reforestation in the states of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul**. Rome: FAO, 1970. 86 p. (FAO. Report, TA-2858).

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. **O sistema radicular das árvores**. In: NUTRIÇÃO e fertilização de florestas. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 221-267.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, 2001.

GUMIERE, T.; RIBEIRO, C. M.; VASCONCELLOS, R. L. F.; CARDOSO, E. J. B. N. Indole-3-acetic acid producing root-associated bacteria on growth of Brazil Pine (*Araucaria angustifolia*) and Slash Pine (*Pinus elliottii*). **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 105, n. 4, p. 663-669, 2014.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de Araucária angustifolia (Bertol.) Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; GUIMARÃES FINGER, C. A. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 1, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098415>.

HOOGH, R. J. de; DIETRICH, A. B. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, v. 10, n. 37, p. 19-92, 1979.

HOOGH, R. J.; VAN GOOR, C. P.; BLUM, W. E. H. Response of planted *Araucaria angustifolia* to N. P. K. Ca and B fertilization. 3 and 7 years after application. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p.136-144.

HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W. Correlações entre o crescimento de *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE, plantada na floresta nacional de Passo Fundo, RS com as características químicas do solo. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 1, n. 4, p. 33-40, 2003a. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i4.14967>.

HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W. Micronutrientes na copa e suas correlações com o crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Ktze plantada em Passo Fundo, RS. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 1, n. 2, p. 21-32, 2003b. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i2.14901>.

ICERI, P. M.; BELLOTE, A. F. J. Influência dos atributos do solo e dos nutrientes minerais na produtividade e na qualidade da madeira da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 7., 2008, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/315567/1/2008RACInfluenciaAtributos.pdf>.

ILANY, T.; ASHTON, M. S.; MONTAGNINI, F.; MARTINEZ, C. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 3, p. 399-409, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9317-8>.



KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; NETTO, S. P. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 53-62, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr85/cap05.pdf>. Acesso em: 7 maio 2018.

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLANT PATHOGENIC BACTERIA, 4., 1978, Angers. **Proceedings** [...]. Angers: Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, 1978. v. 2. p. 879-882.

KORNDÖRFER, C. L. **Desenvolvimento inicial do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) em resposta a diferentes profundidades de enraizamento**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KORNDÖRFER, C. L.; MÓSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Initial growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) under equal soil volumes but contrasting rooting depths. **Trees**, v. 22, n. 6, p. 835-841, 2008.

LA BASTIDE, J. G. A.; VAN GOOR, C. P. Growth-site relationships in plantations of *Pinus elliottii* and *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Plant and Soil**, v. 32, n. 1-3, p. 349-366, 1970.

LASSERE, S. R.; VAIRETTI, M.; LASSERE, E. N. de. Crecimiento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntze., en distintos tipos de suelos de Puerto Piray, Misiones. **IDIA: Suplemento Forestal**, n. 7, p. 36-45, 1972.

LIU, Y.; WANG, C.; HE, N.; WEN, X.; GAO, Y.; LI, S.; NIU, S.; BUTTERBACH-BAHL, K.; LUO, Y.; YU, G. A global synthesis of the rate and temperature sensitivity of soil nitrogen mineralization: latitudinal patterns and mechanisms. **Global Change Biology**, v. 23, n. 1, p. 455-464, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13372>.

MACHADO, J. A. R. **Viabilidade técnica e econômica da conservação e uso da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em teste de procedências e progênies**. 2018. 98 f. Tese (Doutorado em Sistema de Produção) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira.

MARCONDES, V. M. S.; BOGNOLA, I. A.; SOARES, M. T. S. Definição de variáveis climáticas e edáficas relacionadas à ocorrência de araucária no Estado do Paraná. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 15., 2016, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1058643/1/Paginas6566deDoc2951418Completo28.pdf>.

MARTIARENA, R.; FERNÁNDEZ, R.; PAHR, N.; LUPI, A.; ALEGRANZA, D.; VON WALLIS, A. Fertilización y crecimiento de *Araucaria angustifolia* en Misiones, Argentina. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES, 9., 2002, Eldorado, Misiones. [**Anales... Eldorado: s. n.**], 2002.

MEDINA-SAUZA, R. M.; ÁLVAREZ-JIMÉNEZ, M.; DELHAL, A.; REVERCHON, F.; BLOUIN, M.; GUERRERO-ANALCO, J. A.; CERDÁN, C. R.; GUEVARA, R.; VILLAIN, L.; BAROIS, I. Earthworms building up soil microbiota, a review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, p. 81, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00081>.

MILANEZ, F. R.; MONTEIRO NETO, H. Nota prévia sobre micorriza no pinho do Paraná. **Arquivos do Serviço Florestal**, v. 4, p. 87-93, 1950.

MINATTI, M. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do Planalto Serrano, SC**. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

MONTEIRO, P. E. R.; WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; GAIAD, S.; MARQUES, R.; AUER, C. G. Responses of seedlings to the application of the organic fertilizer Bacsol. **Bosque**, v. 38, n. 3, p. 507-513, 2017.

MORAES, A. S. L. **Desempenho produtivo e variação genética entre procedências e progênies de *Araucaria angustifolia***. 41p. 2017. Itapeva: Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva, 2017. 41 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MOREIRA, M.; BARETA, D.; TSAI, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi in a native forest and in a reforest Araucaria Forest: a case study. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 667-684, 2009.

MOREIRA, M.; BARETA, D.; TSAI, S. M.; GOMES DA COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forests. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 393-399, 2007a.



MOREIRA, M.; BONFIM, J. A.; VALADARES, R. B. S.; CARDOSO, E. J. B. N. Micorrizas na floresta com Araucária. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com Araucária, composição florística e biota do solo**. Piracicaba, FEALQ, 2015. 269 p.

MOREIRA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TSAI, S. M.; GOMES DA COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil Pine in the field and greenhouse. **Mycorrhiza**, v. 17, p. 519-526, 2007b.

MOREIRA, M.; ZUCCHI, M. I.; GOMES, J. E.; ALVES-PEREIRA, A.; CARDOSO, E. J. *Araucaria angustifolia* aboveground roots presented high arbuscular mycorrhizal fungal colonization and diversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Pedosphere**, v. 26, n. 4, p. 561-566, 2016.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MÓSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Early growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] Kuntze) in response to soil compaction and drought. **Plant and Soil**, v. 258, n. 1, p. 293-306, 2004.

OLIVEIRA, A. N.; SILVA, A. C. da; ROSADO, S. C. S.; RODRIGUES, E. A. C. Variações genéticas para características do sistema radicular de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, 2006.

OLIVEIRA, M. de; VENTURA, A. **Ocorrência de micorriza em *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O Ktze. e *Podocarpus lambertii***. São Paulo: Serviço Florestal, 1952. 5 p.

PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. D. Variação em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. associada a condições edafo-climáticas. **Scientia Forestalis**, v. 70, n. 70, p.137-148, 2006.

REDECKER, D.; SCHÜßLER, A.; STOCKINGER, H.; STÜRMER, S. L.; MORTON, J. B.; WALKER, C. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). **Mycorrhiza**, v. 23, n. 7, p. 515-31, 2013.

REISSMANN, C. B.; SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. da; ZOTTL, H. W.; BLUM, W. E. H. Crescimento e níveis de macro e micronutrientes em *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* sobre solos derivados do Grupo Itararé (Carbonífero). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1/2, p. 113-119, 1987.

RIBEIRO, C. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Isolation, selection and characterization of root-associated growth promoting bacteria in Brazil Pine (*Araucaria angustifolia*). **Microbiological Research**, v. 167, n. 2, p. 69-78, 2012.

RIBEIRO, C. M.; HORTA, M. M.; VASCONCELLOS, R. L. F.; NERONI, R.; LAMMEL, D. R.; CARDOSO, E. J. B. N. Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) em Araucária. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com araucária: composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 269 p.

RUKUNDO, P.; SHIMELIS, H.; LAING, M.; GAHAKWA, D. Combining ability, maternal effects, and heritability of drought tolerance, yield and yield components in sweetpotato. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 1981, 2017.

SAMPAIO, M. B.; GUARINO, E. S. Efeitos do pastoreio de bovinos na estrutura populacional de plantas em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, 2007.

SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S.; REICHERT, J. M. Compactação causada pelo tráfego de feller buncher e skidder em um Neossolo Regolítico sob distintas umidades. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 239-248, 2015.

SANTOS, W. C.; ROSOT, N. C.; ROSOT, M. A. D. Características edáficas relacionadas à produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Floresta**, v. 40, n. 1, 2010.

SCHEU, S.; RUESS, L.; BONKOWSKI, M. Interactions between microorganisms and soil micro-and mesofauna. In: MICROORGANISMS in soils: roles in genesis and functions. Heidelberg: Springer, 2005. p. 253-275.

SCHÜßLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, v. 105, p. 1413-1421, 2001.

SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; FREITAS, S. A.; FREITAS, J. A. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 16, n. 2, p. 91-99, 2004.

- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Genetic variation in provenance-progeny test of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in São Paulo, Brasil. **Silvae Genetica**, v. 52, n. 5-6, p. 181-184, 2003a.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANNOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 15, p. 109-12, 2003b.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética entre e dentro de procedências e progênes de *Araucaria angustifolia* no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 15, n. 2, p. 109-124, 2003c.
- SILVA, A. C. D.; ROSADO, S. C. D. S.; CALEGARIO, N.; RODRIGUES, É. A. C.; OLIVEIRA, A. N.; VIEIRA, C. T. Genetic variations in root system quality of candeia seedlings (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 609-617, 2007.
- SILVA, E. P. da; FERREIRA, P. A. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e fosfato no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1269-1281, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509830320>.
- SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; BOGNOLA, I. A. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 43, p. 61-74, 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/305894/1/silva.pdf>.
- SILVA, J. R. **Caracterização genética de áreas de produção de sementes de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Ktze para produção de pinhão e madeira**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", Ilha Solteira.
- SILVA, J. R.; SANTOS, W.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y.; MORAES, M. L. T.; AGUIAR, A. V. Seleção de procedências e progênes de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Kuntze para produção de madeira e pinhão. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 120, p. 519-531, 2018.
- SILVA, K. da; BARAÚNA, A.; COFFY, R.; ZILLI, J. Eficiência simbiótica de estirpes de Bradyrhizobium para a produção de mudas de *Centrolobium paraense*. In: REUNIÃO DA REDE DE LABORATÓRIOS PARA RECOMENDAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE INOCULANTES MICROBIANOS DE INTERESSE AGRÍCOLA, 16., 2014, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2014.
- SIMÕES, J. W.; COUTO, H. D. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do paraná *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze cultivada em vaso. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2., 1973, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: FIEP, 1973. p. 112-121.
- SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z.; KAJIYA, S. Tolerância do pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia* Bert. o KTZE) a teores crescentes de alumínio. **IPEF**, n. 6, p. 93-102, 1973. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr06/cap06.pdf>. Acesso em: 7 maio 2018.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997. 605 p.
- SOARES, M. T. S.; GAIAD, S.; DE RESENDE, A. S.; DE 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.
- SZYMCZAK, D. A.; JOSÉ BRUN, E.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C. C.; DAL'COL LÚCIO, A.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, 2014.
- VAN DER VLIET, C. O pinheiro brasileiro plantado com mudas com raízes cortadas. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 10, n. 10, p. 89-102, 1958.
- VELMALA, S. M.; RAJALA, T.; HAAPANEN, M.; TAYLOR, A. F. S.; PENNANEN, T. Genetic host-tree effects on the ectomycorrhizal community and root characteristics of Norway spruce. **Mycorrhiza**, v. 23, n. 1, p. 21-33, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0446-y>.



- VILCATOMA-MEDINA, C.; KASCHUK, G.; ZANETTE, G. Colonization and spore richness of arbuscular mycorrhizal fungi in araucaria nursery seedlings in Curitiba, Brazil. **International Journal of Agronomy**, v. 2018, article ID 5294295, 6 p., 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/5294295>.
- WANG, H.; QIN, F. Genome-wide association study reveals natural variations contributing to drought resistance in crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1110, 2017.
- WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; DE SOUSA, V. A.; DE SOUSA, L. P.; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1413>.
- YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; PESSÔA DA CRUZ, M. C.; BARBOSA, J. C. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, 2009.
- ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; DE SOUZA, P. V. D. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**, v. 25, n. 3, p. 245-255, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062008000100003>.
- ZANDAVALLI, R. B.; STÜRMER, S. L.; DILLENBURG, L. R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forests with Araucaria in Southern Brazil. **Hoehnea**, v. 35, p. 63-68, 2008.
- ZHANG, W.; CAO, J.; ZHANG, S.; WANG, C. Effect of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on the microbial community and maize growth under salt stress. **Applied Soil Ecology**, v. 107, p. 214-223, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.06.005>.



9

Fauna edáfica e epiedáfica em Florestas com Araucária

George Gardner Brown
Quentin Gabriac

Introdução

O solo é um ente vivo contendo um imenso zoológico subterrâneo ainda muito pouco conhecido, em geral (Decaens et al., 2008). A fauna do solo (edáfica) e da serapilheira (epiedáfica) inclui mais de 70 grupos taxonômicos diferentes (Tabela 1), representando milhares de espécies no Brasil (Lewinsohn et al., 2005), muitas delas ainda pouco conhecidas ou completamente desconhecidas (Brown et al., 2015). Em geral, para facilitar o trabalho com esse grupo mega-diverso, e por existirem diferentes formas de captura e estudo dos mesmos, eles são classificados, de acordo com o tamanho, em micro, meso, macro e megafauna edáfica (Tabela 1).

A microfauna compreende organismos microscópicos (< 0,1 mm de diâmetro) que vivem na solução do solo (Figura 1), e incluem organismos parasitas, predadores e rizófagos como os nematoides (Nematoda), rotíferos (Rotifera) e tardígrados (Tardigrada), que atuam principalmente na ciclagem de nutrientes e no controle da produção vegetal, por se alimentarem essencialmente de outros animais, raízes das plantas e micro-organismos como bactérias, protozoários, fungos, algas e actinomicetes (Orgiazzi et al., 2016; Tabela 1). A mesofauna é composta por pequenos animais com diâmetro entre 0,1 mm e 2 mm (Figura 1), como os ácaros (Acari), colêmbolos (Collembola), Diplura, Protura, enquiteídeos (Enchytraeidae), sínfilos (Symphylla) e pseudo-escorpiões (Pseudoscorpiones), entre outros (por ex., micro-coleópteros, formigas, aranhas), que se alimentam principalmente de matéria orgânica em decomposição e fungos ou são predadores de outros organismos menores como os nematoides e protozoários, contribuindo grandemente para a fragmentação da serapilheira e a ciclagem de nutrientes (Coleman et al., 2004; Tabela 1).

Já os animais da macrofauna são visíveis a olho nu (diâmetro >2 mm; Figura 1) e incluem mais de 30 grupos taxonômicos (Tabela 1), como as minhocas, cupins, formigas, centopeias, piolhos de cobra, baratas, aranhas, opiliões, tesourinhas, grilos, caracóis e lesmas, escorpiões, percevejos, cigarras, tripes, tatuzinhos, traças, larvas de mosca e de mariposas, larvas e adultos de besouros, entre outros (Ruiz et al., 2008). Estes podem ingerir solo (geófagos), partes vivas aéreas (fitófagos) e raízes (rizófagos) das plantas, matéria orgânica do solo (humívoros), serapilheira (detritívoros), madeira (xilófagos), outros animais (predadores, parasitas, necrófagos) e fungos (fungívoros) (Brown et al., 2015). Porém, há também vertebrados que habitam temporariamente ou permanentemente o solo (às vezes chamada de megafauna edáfica; Tabela 1), incluindo algumas cobras cegas, anfíbios, pequenos roedores, toupeiras e salamandras, que contribuem para a bioturbação e são principalmente rizófagos ou predadores de outros animais (Orgiazzi et al., 2016).

A fauna edáfica e epiedáfica inclui organismos que vivem no solo ou na serapilheira por uma parte essencial de seu ciclo de vida, e podem ser classificadas segundo sua função no solo, em quatro grandes grupos: 1) os predadores e parasitas, que se alimentam de outros animais e microorganismos; 2) os detritívoros e decompositores, que desintegram a serapilheira e se alimentam de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição; 3) os geófagos e bioturbadores que comem ou transportam solo, afetando sua estrutura e propriedades físicas; e 4) os fitófagos e pragas que se alimentam de plantas (Brown et al., 2001). Portanto, sua atividade no solo e na serapilheira contribui para a provisão de diversos serviços ecossistêmicos, e à qualidade do solo, tais como: a decomposição, a ciclagem de nutrientes, a emissão de gases de efeito estufa e o sequestro de C no solo, a produtividade primária, a dispersão de sementes, a infiltração da água e sua disponibilidade no perfil (ver Brown et al., 2015). Suas populações podem variar entre alguns indivíduos (para a macrofauna) até vários milhões de indivíduos (para a microfauna) por metro quadrado e, devido a essas variações, normalmente são estudadas de forma independente, usando métodos específicos para cada grupo ou táxon principal (Coleman et al., 2004).

**Tabela 1.** Representantes de micro, meso, macro e megafauna edáfica/epiedáfica, seus nomes comuns e sua classificação taxonômica e funcional (ampliado de Brown et al., 2015, 2018).

Classe de tamanho (diâmetro) Classificação taxonômica	Nome comum	Grupo funcional			
		Geófago/ Bioturbador	Detritívoro/ Decompositor	Fitófago/ Praga	Predador/ Parasita
Microfauna (< 0,1 mm)					
Filo Nematoda	Nematóides		X	X	X
Filo Rotifera	Rotíferos		X		X
Filo Tardigrada	Ursos d'água		X		X
Mesofauna (0,1 mm a 2 mm)					
Filo Annelida					
Classe Clitellata					
Subclasse Oligochaeta					
Ordem Enchytraeida					
Família Enchytraeidae	Enquitreídeos	X	X		
Filo Arthropoda					
Subfilo Chelicerata					
Classe Arachnida					
Ordem Acari	Ácaros		X	X	X
Ordem Palpigradi	ND				X
Ordem Pseudoscorpiones	Pseudo-escorpiões		X		X
Subfilo Myriapoda					
Classe Pauropoda	ND		X		X
Classe Symphyla	Sínfilos		X	X	X
Subfilo Hexapoda					
Classe Entognata					
Ordem Collembola	Colêmbolos		X	X	
Ordem Diplura	ND		X		X
Ordem Protura	ND		X		
Macrofauna (> 2 mm)					
Filo Annelida					
Classe Clitellata					
Subclasse Oligochaeta					
Ordem Crassiclitellata	Minhocas	X	X		
Subclasse Hirudinea	Sanguessugas				X
Filo Artropoda					
Subfilo Chelicerata					
Classe Arachnida					
Ordem Amblypygi	Aranha chicote				X
Ordem Aranae	Aranhas	X			X
Ordem Ixodida	Carrapatos				X
Ordem Opiliones	Opiliões	X			X
Ordem Ricinulei	ND	X			X
Ordem Schizomida	ND	X			X
Ordem Scorpiones	Escorpiões	X			X
Ordem Solifugae	Solífulgos				X
Ordem Thelyphonida	Escorpião-vinagre				X
Subfilo Crustacea					
Classe Malacostraca					
Ordem Amphipoda					
Família Talitridae	Pulgas-da-areia, anfípodes	X	X		

Continua...



Tabela 1. Continuação...

Classe de tamanho (diâmetro) Classificação taxonômica	Nome comum	Grupo funcional			
		Geófago/ Bioturbador	Detritívoro/ Decompositor	Fitófago/ Praga	Predador/ Parasita
Ordem Isopoda	Tatuzinhos, tatu-bolinha	X	X		X
Subfilo Hexapoda					
Classe Insecta					
Ordem Achaeognatha	ND		X	X	
Ordem Zygentoma	Traças		X	X	
Ordem Blattodea: Blattaria	Baratas	X	X	X	
Termitoidea	Cupins	X	X	X	
Ordem Coleoptera	Besouros	X	X	X	X
Família Carabidae	Carabídeos, besouros-tigre	X			X
Família Cerambycidae	Serra-pau		X		
Família Chrysomelidae	Vaquinhas, Larva-alfinete	X	X	X	
Família Elateridae	Larvas-aramé, vermes-aramé	X	X	X	X
Família Histeridae	Histerídeos	X	X		X
Família Scarabaeidae	Corós, rola-bostas, escaravelho	X	X	X	
Família Staphylinidae	Estafilínídeos	X	X		X
Família Tenebrionidae	Idiamin	X		X	
Ordem Dermaptera	Tesourinhas	X	X	X	X
Ordem Diptera	Moscas	X	X	X	X
Ordem Embioptera	Embiópteros	X	X		
Ordem Hemiptera	Cigarras, cigarrinhas, percevejos	X	X	X	X
Ordem Hymenoptera					
Família Formicidae	Formigas, saúvas, quenquém	X	X	X	X
Família Vespidae	Vespas, marimbondos	X			X
Família Apidae	Abelhas sem ferrão, mamangabas, zangão, abelhas solitárias	X			X
Ordem Lepidoptera	Mariposas, borboletas			X	X
Ordem Neuroptera					
Família Myrmeleontidae	Formigas-leão	X			X
Ordem Orthoptera	Grilos, paquinhas	X	X	X	
Ordem Psocoptera	NA		X	X	
Ordem Thysanoptera	Tripes		X	X	X
Subfilo Myriapoda					
Classe Chilopoda	Centopéias, lacraias	X			X
Classe Diplopoda	Milipéias, piolhos de cobra, gongôlos	X	X	X	
Filo Mollusca					
Classe Gastropoda	Caracóis, lesmas	X	X	X	
Filo Nematoda					
Classe Enoplea					
Ordem Mermithida	Nematóides entomoparasitas				X
Filo Nematomorpha					
Ordem Gordioidea	Vermes crina de cavalo				X

Continua...



Tabela 1. Continuação...

Classe de tamanho (diâmetro) Classificação taxonômica	Nome comum	Grupo funcional			
		Geófago/ Bioturbador	Detritívoro/ Decompositor	Fitófago/ Praga	Predador/ Parasita
Filo Platyhelminthes					
Classe Rhabditophora	Planárias terrestres				X
Filo Onychophora	Onicóforos				X
Megafauna (vertebrados)					
Filo Chordata					
Subfilo Vertebrata					
Classe Amphibia					
Ordem Urodela					
Família Plethodontidae	Salamandras	X			X
Ordem Gymnophiona	Gimnofionos, cobras-cegas	X			X
Classe Mammalia					
Ordem Rodentia					
Família Ctenomyidae	Tuco-tucos, ratos-de-pentes	X		X	X
Família Cricetidae	Ratos-do-chão	X		X	X
Família Echimyidae	Ratos-de-espinho	X		X	X
Ordem Cingulata					
Família Dasypodidae	Tatu	X			X
Classe Reptilia					
Ordem Squamata					
Família Amphisbaenidae	Anfisbenas, cobra de duas cabeças	X			X
Família Anomalepididae	Cobras-cegas	X			X
Família Leptotyphlopidae	Cobra-chumbinho	X			X
Família Typhlopidae	Cobras-cegas	X			X
Classe Aves					
Ordem Strigiformes					
Família Strigidae	Coruja-buraqueira	X			X

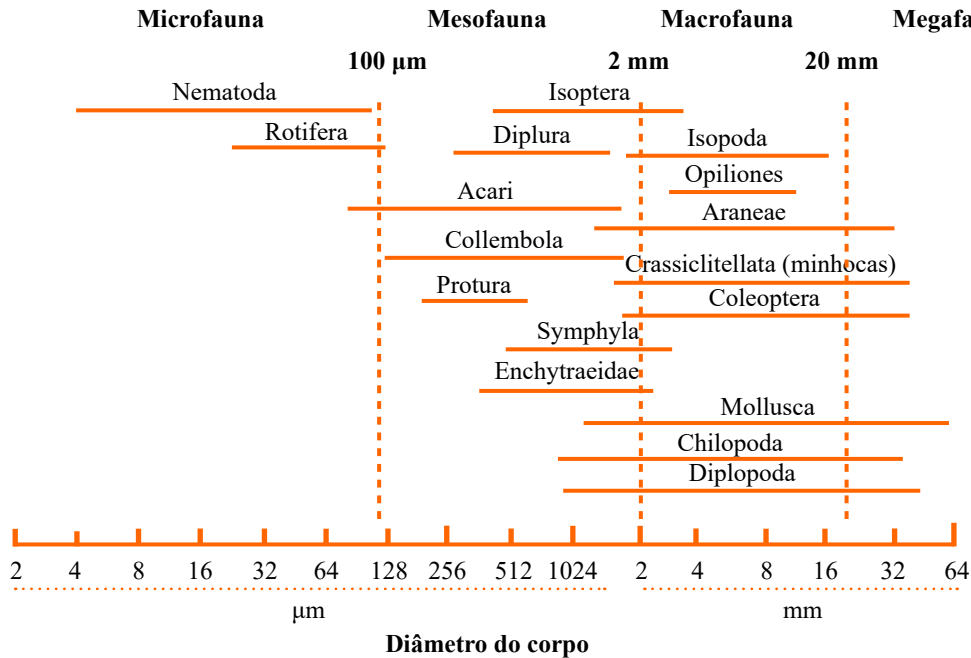


Figura 1. Esquema de classificação de alguns principais membros da fauna edáfica/epiedáfica por tamanho.

Fonte: Adaptada de Swift et al. (1979).

As Florestas com Araucária representam um hábitat especial para a fauna edáfica e epiedáfica no Brasil, pois ocorrem principalmente em áreas com climas mais frios sem estação seca definida (especialmente Cfb e menos em Cfa), no bioma da Mata Atlântica das regiões Sul e Sudeste do País. Nessas condições, a atividade da biota do solo pode se desenvolver durante o ano todo, pois há poucas restrições de temperatura e umidade no solo, excetuando os períodos de veranico ou de ausência mais prolongada de chuva, e aqueles em que as temperaturas registram valores abaixo de 0 °C. Além disso, em algumas regiões, especialmente em altitudes maiores, com temperaturas médias anuais mais baixas, pode haver grande aporte e, ou acúmulo de serapilheira, providenciando abrigo e alimento para a fauna edáfica e epiedáfica. Essa fauna pode, também, alcançar populações importantes e contribuir significativamente para os processos edáficos. Contudo, a fauna edáfica e epiedáfica das Florestas com Araucária é ainda pouco conhecida no Brasil, tendo sido alvo de relativamente poucos estudos, em comparação com os outros tipos de florestas na Mata Atlântica, particularmente as Florestas Ombrófilas Densas e Estacionais Semidecíduais (Gabriac, 2020).

Nas sessões a seguir, será apresentada uma revisão dos resultados disponíveis na literatura sobre as populações de fauna edáfica e epiedáfica em Florestas com Araucária no Brasil, e enfocados especialmente os organismos com potencial de maior impacto sobre as propriedades físicas e químicas dos solos, particularmente a macrofauna e as minhocas (Crassiclitellata: Annelida), em detalhe. Para essa revisão, realizou-se uma busca na internet, usando diversas plataformas como a Scielo, Web of Science, Google Scholar e a Base de Dados de Teses e Dissertações (BDTD) no Brasil, visando encontrar trabalhos contendo diversas palavras-chave incluindo: fauna, invertebrados, macrofauna, mesofauna, microfauna, minhocas, solo, edáfico(a), *Araucaria*, Floresta Ombrófila Mista, reflorestamento e plantio florestal. Buscas foram feitas primordialmente em português, mas também em inglês para a literatura internacional publicada em outros idiomas.



Macro e mesofauna edáfica e epiedáfica em florestas com Araucária

Duas revisões recentes sobre a fauna edáfica em ecossistemas florestais (Oliveira Filho et al., 2018a) e em Florestas com Araucária (Pereira et al., 2015) apresentaram diversos trabalhos sobre o tema, mas eles não fizeram uma síntese geral sobre a macro e mesofauna em Florestas com Araucária, sendo que, Pereira et al. (2015) enfocaram somente resultados de Campos do Jordão, estado de São Paulo. Na Tabela 2, portanto, é apresentada uma lista dos trabalhos publicados sobre a meso e macrofauna edáfica e epiedáfica em florestas nativas e plantios (reflorestamento) com araucária no Brasil. A listagem não é exaustiva, pois é dado maior enfoque aos trabalhos que avaliaram a comunidade total ou alguns grupos principais da meso ou macrofauna (Collembola, aranhas, minhocas, formigas, Coleoptera, Enchytraeidae).

Os trabalhos avaliaram as populações e, ou diversidade de grupos ou táxons específicos da macro e mesofauna do solo e da liteira em 85 localidades dos estados de Paraná (34), Santa Catarina (19), Rio Grande do Sul (17), São Paulo (12) e Minas Gerais (3), principalmente em áreas de Floresta Ombrófila Mista (mata nativa com araucária; 64 locais), e em alguns plantios florestais e reflorestamentos (21 locais). Os estudos evidenciaram uma alta riqueza de espécies e grupos taxonômicos da fauna edáfica/epiedáfica em Florestas com Araucária, especialmente nas florestas nativas (incluindo um número importante de espécies novas ou registros novos, particularmente de minhocas, formigas, aranhas, Collembola, enquitreídeos e besouros), em relação aos plantios florestais. Em vários estudos, avaliou-se a relação da fauna com atributos edáficos/ambientais, mas, em geral, essa relação incluía outros sistemas de uso do solo e não apenas Florestas com Araucária, o que pode alterar as conclusões relativas a somente os sistemas florestais. Portanto, apesar da abrangência geográfica e taxonômica desses estudos, ainda há muito a ser esclarecido sobre a relação entre a fauna edáfica/epiedáfica e os atributos ambientais, tais como os efeitos de tipos de solo, variações climáticas, qualidade da serapilheira e composição florística da floresta sobre a abundância e riqueza de táxons da meso e macrofauna. Além disso, poucos trabalhos exploraram os impactos da fauna sobre as propriedades do solo e a decomposição da serapilheira ou a produtividade vegetal (ver Trigo et al., 2015), sendo necessários ainda estudos mais detalhados sobre a importância funcional da fauna nos solos das Florestas com Araucária. Também não existe quase nada publicado sobre a microfauna (rotíferos, tardígrados e nematóides) e pouco sobre a megafauna edáfica em Florestas com Araucária, sendo esses importantes nichos de pesquisa ainda a serem explorados.

Dos estudos enfocando a macrofauna, grande parte usou armadilhas de queda (Tabela 2), que capturam tanto a macro quanto a mesofauna ativa na superfície do solo, principalmente. Esses grupos incluem, mais comumente, os ácaros e colembolas da mesofauna, e as aranhas, formigas, besouros (especialmente predadores como Staphylinidae e Carabidae), tatuzinhos, baratas, tesourinhas, anfípodos, traças, milipéias, centopéias e grilos, entre outros membros da macrofauna. Contudo, esses trabalhos são de comparação difícil, pois o método de coleta é bastante variável quanto ao tempo de colocação no campo, e porque não amostra uma área específica comparável. Portanto, os detalhes sobre esses estudos serão deixados para outro trabalho, e decidiu-se comparar apenas os estudos que avaliaram as comunidades da macrofauna edáfica e epiedáfica usando o método padrão (às vezes ligeiramente modificado) do Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) da Unesco (Anderson; Ingram, 1993), também padronizado pela ISO (2018). Este método consiste na catação manual de invertebrados da liteira e de monólitos de solo (geralmente de 25 cm x 25 cm, equivalentes a 1/16 m²), em profundidades variando de 10 cm até 30 cm.

Tabela 2. Estudos publicados sobre as populações e diversidade da fauna edáfica coletada, usando diferentes métodos (armadilhas de queda, extração com formol, Funis de Berlese, catação manual, extração fria e quente) em floresta nativa (Floresta Ombrófila Mista) e plantios/reflorestamentos com araucária em diversas localidades da região Sul e Sudeste do Brasil.

Localidades (n° locais)	Alvo do estudo	Vegetação	Fonte
Área particular, Senador Amaral, MG (3)	Macrofauna epiedáfica (armadilhas de queda)	Floresta nativa	Silva (2016)
Parque Estadual de Campos do Jordão, SP (6)	Macrofauna edáfica, Coleptera (catação manual), Meso e macrofauna; Minhocas, aranhas, collembola (armadilhas de queda, Funis de Berlese, catação manual, extração com formol)	Floresta nativa com e sem fogo, Plantio de Araucária com e sem fogo	Merlim (2005), Merlim et al. (2006); Baretta et al. (2007a, 2007b, 2008, 2010)
Petar, Estação Ecológica de Itaberá e de Bananal, Estação Experimental de Itapeva, SP (6)	Macrofauna edáfica e epiedáfica, aranhas e mesofauna (catação manual, armadilhas de queda); Minhocas (catação manual)	Floresta nativa, Plantio de Araucária	Pereira (2012), Pereira et al. (2013, 2015, 2017, 2020, 2021)
Área particular, Campo Bonito, PR (1)	Macrofauna edáfica (catação manual), Macrofauna epiedáfica e mesofauna (Funis de Berlese, armadilhas de queda)	Floresta nativa	Tessaro (2013)
Área particular, Toledo, PR (1)	Minhocas (catação manual)	Plantio de Araucária	Bartz et al. (2013)
UTFPR, Campus Dois Vizinhos, PR (1)	Mesofauna (Funis de Berlese), Macrofauna (catação manual)	Floresta nativa	Franco (2016)
Embrapa Florestas, Colombo-PR (11)	Mesofauna (Funis de Berlese, extrator de Winkler), Minhocas (catação manual, extração com formol); Macrofauna edáfica e epiedáfica (catação manual, armadilhas de queda), Enchytraeidae (extração fria e quente)	Floresta nativa, Plantio de Araucária	Da Cruz et al. (2010), Silvano et al. (2010), Lima (2011), Oliveira et al. (2012), Niva et al. (2015), Santos et al. (2016), Silva et al. (2019)
Floresta Nacional de Irati, Irati, PR; Área particular, Rebouças, PR (2)	Macrofauna epiedáfica (armadilhas de queda)	Floresta nativa e em sistema faxinal	Barcik (2017)
Área particular, Campina Grande do Sul (1)	Macrofauna epiedáfica (armadilhas de queda)	Floresta nativa	Leivas; Fischer (2008)
Área particular, Quitandinha, PR (1)	Macrofauna edáfica e epiedáfica, (catação manual, armadilhas de queda), mesofauna (Funis de Berlese, armadilhas de queda), Enchytraeidae (extração quente)	Floresta nativa	Santos et al. (2014), Assis (2016), Demetrio et al. (2020)

Continua...



Tabela 2. Continuação...

Localidades (n° locais)	Alvo do estudo	Vegetação	Fonte
RPPN Mata do Uru, Lapa, PR (2)	Macrofauna edáfica e minhocas (catação manual)	Floresta nativa, reflorestamento	Santos et al. (2014), Assis (2016), Demetrio et al. (2020)
Fazenda Frank'ana, Castro, PR (1)	Minhocas (catação manual e extração com formol)	Floresta nativa	Tanck et al. (2000)
Área particular, Bituruna, PR (1)	Macrofauna edáfica (catação manual)	Floresta nativa	Bianchi et al. (2007)
Colônia Entre Rios, General Carneiro, PR (1)	Macrofauna edáfica (catação manual)	Floresta nativa	Mafra et al. (2002)
Parque Estadual de Guartelá, PR (1)	Coleoptera: Histeridae (armadilhas de queda)	Floresta nativa	Leivas et al. (2013)
Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, PR (3)	Macrofauna e formigas (catação manual), Coleoptera (armadilhas de queda)	Floresta nativa, Plantio de Araucária	Marinoni; Ganho (2003), Leivas et al. (2013), Ferreira (2015), Martins (2017), Martins et al. (2020)
Parques Municipais da Barreirinha, Barigui, Passaúna e Tingui, Jardim Botânico, campus UFPR, Curitiba, PR (7)	Macrofauna (catação manual)	Floresta nativa	Smokanit et al. (2016), Ferreira et al. (2018), Santos et al. (2019)
Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC (1)	Macrofauna edáfica e epiedáfica (catação manual), mesofauna (Funis de Berlese)	Floresta nativa	Oliveira Filho et al. (2018b)
UFSC, Curitibaanos, SC (1)	Coleoptera (catação manual, armadilhas de queda e Funis de Berlese)	Floresta nativa	Leão (2018)
Fazenda Gateados, Campo Belo do Sul, SC (2)	Macrofauna edáfica e epiedáfica, mesofauna e Collembola (Funis de Berlese, armadilhas de queda e catação manual)	Floresta nativa, Plantio de Araucária	Córdova et al. (2009), Carneiro et al. (2017), Ortiz et al. (2017)
Floresta Nacional de Três Barras, SC (4)	Minhocas (catação manual), Macrofauna epiedáfica e mesofauna (Funis de Berlese, armadilhas de queda)	Floresta nativa, Plantio de Araucária	Clasen (2011), Clasen; Brown (2011), Pech et al. (2015), Ortiz (2016)
Áreas particulares, Urubici, Urupema e Painel, SC (3)	Macrofauna edáfica e epiedáfica (catação manual, armadilhas de queda), mesofauna (armadilhas de queda)	Floresta nativa	Wiggers (2017)
Epagri, Lages, SC (1)	Macrofauna edáfica (catação manual)	Floresta nativa	Pompeo et al. (2016b)

Continua...

Tabela 2. Continuação...

Localidades (n° locais)	Alvo do estudo	Vegetação	Fonte
Áreas particulares, Otacílio Costa, Campo Belo do Sul e Lages/Santa Teresinha do Salto, Chapecó, Xanxerê e São Miguel d'Oeste, SC (6)	Macrofauna edáfica e epiedáfica, aranhas, Coleoptera (catação manual, armadilhas de queda), mesofauna e Collembola (armadilhas de queda)	Floresta nativa	Rosa (2013), Bartz et al. (2014), Rosa et al. (2015, 2019), Pompeo et al. (2016a, 2017, 2020), Martins (2017), Machado et al. (2019), Martins et al. (2020)
Área particular, Anchieta, SC (1)	Macrofauna epiedáfica e mesofauna (armadilhas de queda)	Floresta nativa	Brancher; Roza-Gómes (2012)
Área particular, Campos Borges, RS (1)	Macrofauna epiedáfica (armadilhas de queda)	Floresta nativa	Copatti; Gasparetto (2012)
Área particular, Muitos Capões, RS (7)	Mesofauna (Funis de Berlese)	Floresta nativa	Duarte (2004)
Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS (2)	Macrofauna edáfica (catação manual)	Floresta nativa	Azevedo et al. (2000); Lima et al. (2002)
Área particular, Teutônia, RS (1)	Minhocas (catação manual)	Floresta nativa	Krabbe et al. (1993)
Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS (6)	Macrofauna epiedáfica (armadilhas de queda)	Floresta nativa, Plantio de Araucária	Lange et al. (2011)





No total, 13 trabalhos avaliaram as populações da macrofauna em 31 locais (Tabela 3), sendo 23 fragmentos de Floresta com Araucária e oito plantios comerciais. Infelizmente, apenas dois trabalhos (Mafra et al., 2002; Clasen, 2011) avaliaram a biomassa dos invertebrados coletados em um plantio de araucária (1,5 g m⁻² biomassa fresca total) e em dois fragmentos florestais naturais (6,9 g m⁻² e 8,4 g m⁻² peso fresco total, predominantemente de besouros, minhocas e cupins), portanto os resultados apresentados, a seguir, enfocam maiormente a abundância.

A densidade total da macroinvertebrados variou entre 119 ind. m⁻² (Urubici, SC; Wiggers, 2017) e 2.231 ind. m⁻² (média de três locais em SP; Pereira, 2012) em floresta nativa e entre 364 ind. m⁻² (Três Barras, SC; Clasen, 2011) e 1.641 ind. m⁻² (média de três locais em SP; Pereira, 2012) nos plantios de araucária, respectivamente (Tabela 3). Contudo, a densidade média total da fauna na floresta nativa e nos plantios de araucária não foi significativamente diferente (998 ind. m⁻² e 1.194 ind. m⁻², respectivamente). Já a riqueza média geral dos grupos encontrados foi significativamente menor (13 grupos) nas matas nativas que nos plantios (20 grupos), mas pode ter sido influenciado pelo menor número de plantios florestais avaliados. Os grupos predominantes, em termos de abundância (número de indivíduos), em ambos os tipos de vegetação encontrados foram as formigas (25-27% do total, em média), os cupins (26-31% do total, em média) e os besouros (15-18% do total, em média), organismos que podem ser considerados engenheiros do ecossistema (Brown et al., 2001). Apesar do menor número de locais com plantios de araucária, as médias gerais para os táxons foram maiores para as minhocas (veja seção seguinte) e o grupo de outros, e menores para os tatuzinhos e caracóis nos plantios que nas florestas nativas.

Com esses dados, evidenciou-se que as Florestas com Araucária podem ter altas populações de macroinvertebrados edáficos, que podem contribuir para funções importantes no solo, como a estruturação (agregação, porosidade), ciclagem de nutrientes, e efeitos no crescimento das plantas e provisão de serviços ecossistêmicos (Lavelle et al., 1997, 2006; Scheu, 2003). Contudo, a falta de dados sobre a biomassa dessa fauna, além de estudos funcionais sobre seus efeitos nos atributos edáficos, impede uma avaliação mais precisa do papel dessa fauna sobre o funcionamento dos solos em Florestas com Araucária.

Populações e diversidade de minhocas em Florestas com Araucária

As populações de minhocas foram avaliadas em 44 localidades, sendo 30 com floresta nativa e 14 reflorestamentos/plantios de araucária. A maioria dos locais avaliados estava no Paraná (19), enquanto um número igual foi avaliado em Santa Catarina e São Paulo (12) e apenas um foi alvo de estudo no Rio Grande do Sul (Tabelas 3 e 4). Na maior parte dos trabalhos, somente dados quantitativos foram providenciados; apenas oito locais com mata nativa e dez com reflorestamento/plantio de araucária avaliaram tanto a abundância quanto a riqueza de espécies encontradas (Tabela 4). Em outros, apenas as espécies foram avaliadas (Tabela 5), sem realizar a quantificação (ind. m⁻²). A seguir, são apresentados os resultados dessas avaliações da biodiversidade e, posteriormente, os resultados da avaliação quantitativa (abundância e biomassa).

Tabela 3. Comunidades da macrofauna edáfica e epiedáfica em florestas nativas (MN) com araucária e plantios florestais (PF), coletada mediante o método padrão do Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) Programme (Anderson; Ingram, 1993) de catação manual de monólitos de solo+liteira.

Estudos	Locais	Floresta	Táxons da macrofauna ⁽¹⁾															Total	Riqu
			Olig	Arac	Isop	Diplu	Blat	Cole	Derm	Dipt	Hemi	Form	Term	Chil	Diplo	Gast	Outr		
Pereira (2012)	Barra do Chapéu, Itaberá, Bananal, SP	MN ⁽²⁾	37	39	16		18	192	1	54	11	720	838	97	57		110	2.231	20
	Iporanga, Itapeva, Bananal, SP	PF ⁽²⁾	137	24	9		9	131	1	46	9	373	548	35	54		52	1641	21
Baretta (2007)	Campos do Jordão, SP	MN ⁽³⁾	8	60		4	1	300	0		1	223	145	215	53	3	306	1.319	20
		PF ⁽³⁾	1	16		1	3	137	1		0	87	120	121	7	0	133	628	17
		PF ⁽³⁾	7	33		4	8	243	3		0	98	253	59	4	0	195	907	18
Merlim (2005)	Campos do Jordão, SP	PF ⁽⁴⁾	13	9	0	45	4	267	3	24	14	681	283	78	55		20	1.478	22
		PF ⁽⁴⁾	11	1	0	3	1	90	0	10	1	399	578	11	2		147	1.250	21
		MN ⁽⁴⁾	8	6	0	23	0	129	2	32	1	45	281	30	5		96	652	24
Bianchi et al. (2007)	Bituruna, PR	MN ⁽⁵⁾	17	54				95				637	835	25			133	1.795	6
Oliveira et al. (2012)	Colombo, PR	MN	101			436		202		218		487					67	1.678	18
Santos et al. (2019)	UFPR, Curitiba, PR	MN	53					21				5	11		32		43	165	7
		MN	11	16	139		11	64	11				128		5	5	11	81	482
Mafra et al. (2002)	Entre Rios, PR	MN	6	19				55			2		890	10	4	4	16	1.194	9
Ferreira (2015)	Ponta Grossa, PR	MN	7	10	10		10	123	3	17		413	63	20	33	43	13	778	14
Demetrio et al. (2020)	Quitandinha, PR	MN	20	59	12		14	219	0	75	9	1296	162	66	59	11	59	2.049	16
Rosa (2013)	Chapecó, Xanxerê, São Miguel d'Oeste, SC	MN ⁽⁶⁾	4	22	2		9	79	1	0	8	385	413	24	9	5	30	991	10
	Campo Belo do Sul, Otacílio Costa, Santa Teresinha do Salto, SC	MN ⁽⁶⁾	9	29	1		13	129	2	18	6	340	310	8	23	7	17	911	14
Pompeo et al. (2016)	Lages, SC	MN	0	11	2	0	7	66		0	11		12	5	7	0	21	263	11
Clasen (2011)	Três Barras, SC	MN	14	39	14	0	27	181		32	4	91	571	12	20	14	16	1.029	19
		PF	0	28	0	11	23	92		57	16	80	32	2	9	7	23	364	16

Continua...



Tabela 3. Continua...

Estudos	Locais	Floresta	Táxons da macrofauna ⁽¹⁾														Total	Riqu		
			Olig	Arac	Isop	Diplu	Blat	Cole	Derm	Dipt	Hemi	Form	Term	Chil	Diplo	Gast			Outr	
Wiggers (2017)	Urubici, SC	MN ⁽⁷⁾	11	25						17					11	6		10	119	6
	Urupema, SC	MN ⁽⁷⁾	58	38						4					34	25		14	202	6
	Painel, SC	MN ⁽⁷⁾	62	10						7					14	18		11	135	6
	Média ⁽⁸⁾	MN	23	29	42	7	12	133	2	33	7	426	425	40	25	9	59	998	13	
	Média ⁽⁸⁾	PF	55	20	5	13	8	153	1	38	7	308	364	47	30	2	84	1.194	20	
	Média geral ⁽⁸⁾		31	27	32	10	11	138	2	34	7	389	406	42	27	8	66	1.049	15	

⁽¹⁾Olig = Oligochaeta (minhocas); Arac = Aracnídeos (aranhas, opiliões, pseudo-escorpiões); Isop = Isopoda; Diplu = Diplura; Blat = Blattaria; Cole = Coleoptera (larvas, adultos); Derm = Dermaptera; Dipt = Diptera (larvas); Hemi = Hemiptera; Form = Formicidae; Term = Termitoidea; Chil = Chilopoda; Diplo = Diplopoda; Gast = Gastropoda; Riqu = Riqueza total (nº táxons). ⁽²⁾Média dos três locais, coletados em duas épocas (inverno-ago. 2009 e verão-jan. 2010). ⁽³⁾Média de três datas de coleta (set. 2004; fev. e abr. 2005). ⁽⁴⁾Média de duas datas de coleta (oct. 2002, mar. 2003). ⁽⁵⁾Média de quatro datas de coleta (abr. 2004, fev. e nov. 2005 e mai. 2006). ⁽⁶⁾Média dos três locais, em duas datas de coleta (jun./jul. 2011 e dez. 2011/jan.2012). ⁽⁷⁾Média de três datas de coleta (ago., nov. 2015 e mar. 2016). ⁽⁸⁾O cálculo das médias contemplou apenas os locais que reportaram os táxons.

Tabela 4. Abundância, biomassa e riqueza de minhocas encontradas em áreas com Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) e em plantios de araucária em diferentes locais do Brasil. Dados complementares aos da Tabela 3.

Município	Floresta nativa			Plantio de araucária			Referência
	Densidade (ind. m ⁻²) ⁽¹⁾	Biomassa (g m ⁻²) ⁽¹⁾	Riqueza	Densidade (ind. m ⁻²) ⁽¹⁾	Biomassa (g m ⁻²) ⁽¹⁾	Riqueza	
Teutônia, RS	27-96	ND	2				Krabbe et al. (1993, 1994)
Quitandinha, PR	19	ND	4				Demetrio et al. (2020)
Castro, PR	30-95	16,5-57,2	ND				Tanck (1996), Tanck et al. (2000)
Toledo, PR				285	ND	6	Bartz et al. (2013)
Colombo, PR ⁽²⁾	3-76	0,9-25,1	7 ³	14-156	3,1-66,1	7 ⁽³⁾	Silvano et al. (2010), Lima (2011), Silva et al. (2019)
Campos do Jordão, SP ⁽⁴⁾	5-12	máx. 12,1	3 ³	0-22	0-3,2	3 ⁽³⁾	Merlim (2005), Baretta et al. (2007b)

⁽¹⁾Intervalo de valores de abundância ou biomassa encontrada em diferentes plantios ou fragmentos florestais amostrados no mesmo município, ou em coletas realizadas em diferentes meses do ano no mesmo local. ⁽²⁾Cinco plantios de araucária e cinco fragmentos florestais na Embrapa Florestas. ⁽³⁾Riqueza total (soma) das espécies encontradas nas florestas nativas e plantios florestais. ⁽⁴⁾Dois florestas nativas e quatro reforestamentos no Parque Estadual de Campos do Jordão.

Tabela 5. Espécies de minhocas nativas (N) e exóticas (E) encontradas em florestas nativas (MN) e plantios de araucária (PF) em diferentes locais do Brasil.

Local, município e estado	Floresta	Espécies nativas	Espécies exóticas/cosmopolitas	S ⁽¹⁾	N/E	Referência
Parque Estadual de Campos do Jordão, Campos do Jordão, SP	MN	<i>Glossoscolex</i> sp., <i>Urobenus brasiliensis</i>	<i>Amyntas corticis</i>	3	2/1	Baretta et al. (2007b)
	PF	<i>Glossoscolex</i> sp., <i>U. brasiliensis</i>	<i>A. corticis</i>	3	2/1	Baretta et al. (2007b)
	PF	<i>Glossoscolex bondari</i> , <i>Glossoscolex</i> sp.	<i>A. corticis</i>	3	2/1	Baretta et al. (2007b)
Área particular em Barra do Chapéu, Estações Ecológicas de Itaberá e Bananal, SP	MN	<i>Glossoscolex</i> (2 spp.), <i>Fimoscolex</i> sp., <i>Andiorrhinus duseni</i> , <i>U. brasiliensis</i>	<i>Dichogaster gracilis</i>	6	5/1	Pereira (2012)
Petar-Iporanga, Estação Experimental de Itapeva, Estação Ecológica de Bananal, SP	PF	<i>A. duseni</i> , <i>Glossoscolex</i> sp.2, <i>Fimoscolex</i> sp., <i>U. brasiliensis</i>	<i>Pontoscolex corethrurus</i> , <i>A. corticis</i> , <i>Amyntas gracilis</i> , <i>D. gracilis</i>	8	4/4	Pereira (2012)
RPPN Mata do Uru, Lapa, PR	MN	<i>Glossoscolex</i> (2 spp.), <i>Fimoscolex</i> (2 spp.)	<i>A. corticis</i> , <i>A. gracilis</i>	6	4/2	Demetrio et al. (2018)
	PF	<i>Glossoscolecidae</i> sp.		1	1/0	Demetrio et al. (2018)
Parque Barigui, Curitiba, PR	MN		<i>Eukerria eiseniana</i> , <i>P. corethrurus</i> , <i>A. gracilis</i> , <i>A. corticis</i> , <i>Metaphire californica</i>	5	0/5	Ferreira et al. (2018)
Parque Tingui, Curitiba, PR	MN		<i>P. corethrurus</i> , <i>A. gracilis</i>	2	0/2	Ferreira et al. (2018)
Parque Barreirinha, Curitiba, PR	MN		<i>A. gracilis</i>	1	0/1	Ferreira et al. (2018)
Jardim Botânico, Curitiba, PR	MN	<i>Glossoscolex</i> sp.	<i>A. gracilis</i> , <i>M. californica</i>	2	1/2	Ferreira et al. (2018)
Parque Passaúna, Curitiba, PR	MN	<i>Fimoscolex</i> sp.	<i>Megascolecidae</i> sp.	2	1/1	Ferreira et al. (2018)
Área particular, Quitandinha, PR	MN	<i>Glossoscolex</i> (2 spp.), Ocneroдрilidae, espécie não identificada		4	4/0	Demetrio et al. (2020)
Área particular, Toledo, PR	PF	<i>Fimoscolex</i> sp., <i>U. brasiliensis</i> , Ocneroдрilidae sp.	<i>A. gracilis</i> , <i>Dichogaster bolau</i> , <i>D. gracilis</i>	6	3/3	Bartz et al. (2013)
Embrapa Florestas, Colombo, PR	MN	<i>U. brasiliensis</i> , <i>Fimoscolex nivae</i> , <i>Glossoscolex embrapaensis</i>	<i>P. corethrurus</i> , <i>A. gracilis</i> , <i>Metaphire schmarde</i> , <i>A. corticis</i>	7	3/4	Silva et al. (2019)
	PF	<i>U. brasiliensis</i> , <i>F. nivae</i> , <i>G. embrapaensis</i> , <i>A. duseni</i>	<i>P. corethrurus</i> , <i>A. gracilis</i> , <i>M. schmarde</i>	7	4/3	Silva et al. (2019)
Floresta Nacional de Três Barras, Três Barras, SC	MN	<i>U. brasiliensis</i> , <i>Glossoscolecidae</i> sp.		2	2/0	Ortiz (2016)
	PF	<i>Glossoscolex</i> sp.		1	1/0	Ortiz (2016)
Áreas particulares em Campo Belo do Sul, Otacílio Costa e Santa Teresinha do Salto, SC	MN	<i>Glossoscolex</i> (4 spp.), Ocneroдрilidae (2 spp.), <i>U. brasiliensis</i> , <i>A. duseni</i>	<i>A. gracilis</i>	9	8/1	Bartz et al. (2014)
Áreas particulares em Chapecó, Xanxerê e São Miguel d'Oeste	MN	<i>Fimoscolex</i> sp., <i>U. brasiliensis</i> , Ocneroдрilidae sp.		3	3/0	Bartz et al. (2014)
Fazenda particular, Teutônia, RS	MN		<i>A. corticis</i> , <i>Amyntas morrissi</i>	2	0/2	Krabbe et al. (1993)

⁽¹⁾Riqueza total de espécies.





Considerando todas as florestas nativas e plantios de araucária estudados no país, já foram encontradas 30 espécies de minhocas nativas das famílias Glossoscolecidae, Rhinodrilidae e Onerodrilidae, e nove espécies cosmopolitas das famílias Acanthodrilidae, Megascolecidae, Onerodrilidae e Rhinodrilidae, sendo 26 nativas e sete cosmopolitas nas florestas nativas, e 12 nativas e seis cosmopolitas nos plantios (Tabela 5). Em média, foram 1,8 espécies por local na mata nativa e 2,1 espécies por local nos plantios de araucária, das quais pelo menos uma era nativa, em ambos os sistemas florestais. Aproximadamente, metade das espécies nativas encontradas provavelmente representam espécie novas, que ainda precisam ser formalmente descritas.

Na floresta nativa em Teutônia, RS, encontraram-se duas espécies apenas (Krabbe et al., 1993): *Amyntas corticis* (Figura 2B) e *Amyntas morrissi*, ambas exóticas e originárias da Ásia. Na floresta nativa próxima a Quitandinha, PR, Demetrio et al. (2020) encontraram quatro espécies, todas elas provavelmente nativas: duas *Glossoscolex* sp., uma Onerodrilidae sp. e outra não identificada em nível de espécie. As minhocas da família Onerodrilidae são frequentemente encontradas em áreas hidromórficas (brejos, nascentes, margens de cursos d'água; Figura 2H), mas também têm sido encontradas em solos de 'terra-firme', especialmente no Paraná e em Santa Catarina (Bartz et al., 2013, 2014).

Em dez áreas da Embrapa Florestas, em Colombo, PR (cinco fragmentos de mata nativa e cinco plantios de araucária), encontraram-se oito espécies no total, sendo sete na floresta nativa e sete nos plantios de araucária (Silva et al., 2019). Seis espécies eram comuns aos dois sistemas florestais: as espécies nativas *Urobenus brasiliensis* (Figura 2E), *Fimoscolex nivae* (Figura 2G) e *Glossoscolex embrapaensis* (Figura 2F), e as espécies cosmopolitas ou exóticas *Pontoscolex corethrurus* (Figura 2A), *Amyntas gracilis* (Figura 2C) e *Metaphire schmardae*. O minhocoçu nativo *Andiorrhinus duseni* (Figura 2D) foi encontrado somente nos plantios de araucária e a exótica *A. corticis* somente na floresta nativa.

No reflorestamento de araucária em Toledo, PR, Bartz et al. (2013) encontraram seis espécies, sendo duas nativas - *Fimoscolex* sp. e *U. brasiliensis*, três exóticas - *A. gracilis*, *Dichogaster bolau* e *Dichogaster gracilis*, e uma espécie da família Onerodrilidae não identificada em nível de espécie. As espécies de *Dichogaster* também são exóticas, provenientes da África, e muito comuns nas áreas de plantio direto do oeste do Paraná (Bartz et al., 2013). No Parque Estadual de Campos do Jordão, SP, Baretta et al. (2007b) encontraram cinco espécies, das quais três eram comuns às três áreas avaliadas: duas espécies nativas, *U. brasiliensis*, *Glossoscolex* sp.1 e a exótica *A. corticis*. Já *Glossoscolex* sp.2 foi encontrada apenas na mata nativa, enquanto *Glossoscolex bondari* foi encontrada apenas no reflorestamento submetido à queima acidental, e *Glossoscolex* sp.1 foi encontrada somente nos dois reflorestamentos de araucária.

Além desses estudos, outros cinco trabalhos avaliaram a riqueza de espécies em Florestas com Araucária, mas sem apresentar dados quantitativos (ind. m⁻²) das espécies ou total da população encontrada (Tabela 5):

1. No estado de Santa Catarina, Bartz et al. (2014) estudaram seis fragmentos inseridos em paisagens agrícolas em três municípios da região oeste (Chapecó, São Miguel d'Oeste, Xanxerê) e três da região do Planalto (Campo Belo do Sul, Otacílio Costa e Santa Teresinha do Salto), e encontraram no total dez espécies, sendo oito no Planalto e apenas três no oeste. Do total, apenas uma era exótica (*A. gracilis*), e as demais incluíam quatro espécies novas de *Glossoscolex*, uma *Fimoscolex* e duas Onerodrilidae não identificadas, mas, provavelmente nativas. Apenas duas espécies (*U. brasiliensis* e uma Onerodrilidae) foram encontradas em ambas as regiões, evidenciando uma diversidade beta razoavelmente importante.



Fotos: Marie Bartz (A, D, E); Yong Hong (B, H); George Brown (C, F, G)

Figura 2. Algumas espécies nativas e exóticas/cosmopolitas de minhocas encontradas em florestas nativas e plantios de araucária na região Sul e Sudeste do Brasil. A) *P. corethrurus*, espécie cosmopolita comum nos plantios de araucária da Embrapa Florestas e da Estação Experimental de Itapeva, e em Floresta Ombrófila Mista em alguns parque de Curitiba; B) exemplar de *A. corticis* encontrado em floresta nativa no Parque Nacional de Aparados da Serra; essa espécie exótica é comum nas Florestas com Araucária e plantios florestais em diversos locais no Sul e Sudeste do Brasil (Brown et al., 2006), incluindo a Embrapa Florestas e o Parque Estadual de Campos do Jordão; C) *A. gracilis*, espécie exótica amplamente distribuída no Brasil (Brown et al., 2006), e comum nos plantios de araucária na Embrapa Florestas e da Estação Experimental de Itapeva, e em vários fragmentos de floresta nativa nos parque de Curitiba; D) *A. duseni*, minhocucu nativo com ampla distribuição na região da Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina, Paraná e São Paulo (Feijoo et al., 2017); E) *U. brasiliensis*, espécie nativa com ampla distribuição no Brasil e na região da Floresta Ombrófila Mista (Brown; James, 2007), desde Rio Grande do Sul até o Rio de Janeiro; F) *Glossoscolex embrapaensis*, espécie nativa recentemente descrita (Feijoo; Brown, 2018) encontrada em floresta nativa e vários plantios florestais na Embrapa Florestas; G) *Fimoscolex nivae*, minhoca nativa pequena e fina recentemente descrita (Feijoo; Brown, 2018) encontrada em floresta nativa e plantios florestais na Embrapa Florestas; H) uma espécie nova de Kerronia da família Ocnerodrilidae encontrada no Parque Nacional de Aparados da Serra, RS; espécies dessa família de minhocas geralmente estão associadas a solos com maiores teores de matéria orgânica e/ou com hidromorfismo (Brown; James, 2007).



2. Na Reserva Particular do Patrimônio Natural Uru, na Lapa, PR, Demetrio et al. (2018) avaliaram um reflorestamento e duas áreas com floresta nativa, e encontraram seis espécies, sendo quatro nativas e duas exóticas (*A. gracilis*, *A. corticis*). Entre as espécies nativas, todas eram novas, e pertenciam aos gêneros *Fimoscolex* e *Glossoscolex*.
3. Em fragmentos de floresta nativa de cinco parques municipais de Curitiba, PR, Ferreira et al. (2018) encontraram sete espécies, sendo cinco exóticas - *P. corethrurus*, *A. corticis*, *A. gracilis*, *Metaphire californica*, *Eukerria eiseniana*, e duas nativas, das quais uma do gênero *Glossoscolex* e outra do gênero *Fimoscolex*. A riqueza de espécies nas matas dos parques variou de uma (Barreirinha) a cinco (Barigui), e a espécie mais frequente foi *A. gracilis*, indicando que as florestas desses parques estão altamente antropizadas, já que essa espécie é indicadora de perturbação antrópica (Fernandes et al., 2010).
4. Em três áreas de floresta nativa e três plantios de araucária no estado de São Paulo, Pereira (2012) encontrou um total de nove espécies sendo cinco nativas (duas *Glossoscolex* spp., uma *Fimoscolex* sp., *A. duseni* e *U. brasiliensis*) e quatro exóticas (*P. corethrurus*, *A. corticis*, *A. gracilis*, *D. gracilis*). As exóticas estiveram mais associadas às áreas reflorestadas com araucárias, e as nativas mais à floresta nativa.
5. Em um fragmento de floresta nativa e um plantio de araucária na Floresta Nacional de Três Barras, SC, Ortiz (2016) encontrou duas espécies, ambas nativas (*U. brasiliensis* e *Glossoscolex* sp.), além de juvenis da família Glossoscolecidae. Na floresta nativa, havia duas espécies, enquanto no plantio de araucária encontrou-se apenas *Glossoscolex* sp.

Nos plantios de araucária as densidades de minhocas variaram entre 0 ind. m⁻² e 285 ind. m⁻² (média de 84 ind. m⁻²), enquanto nas florestas nativas foram encontradas abundâncias entre 0 ind. m⁻² e 136 ind. m⁻², com uma média (todos os locais) de 27 ind. m⁻² (Tabelas 3 e 4). Nas florestas nativas, isso representa menos de dois indivíduos por amostra do tamanho padrão do TSBF (Anderson; Ingram, 1993) e ISO (2018), mais frequentemente usados para coletar minhocas (e a macrofauna, em geral) no Brasil (Nadolny et al., 2020a). Em comparação com áreas de plantio direto no Paraná (Bartz et al., 2013), a abundância tanto na floresta nativa quanto nos plantios de araucária seria considerada moderada (≥ 25 ind. m⁻² a < 100 ind. m⁻²), mas menor que a média para todas as florestas nativas com Mata Atlântica no Brasil (94 ind. m⁻²; dado de Nadolny et al., 2020b). As razões para essa baixa densidade ainda são desconhecidas, e ocorrem apesar da alta quantidade de nutrientes (especialmente Ca e N) na liteira depositada em Florestas com Araucária, a qual é feita mais pela via das folhas e acículas (>60%) do que de material lenhoso (Britez et al., 1992; Schumacher et al., 2004; Hummel et al., 2008). Contudo, os altos teores de lignina e polifenóis da liteira em Florestas com Araucária (Carvalho, 2011; Inkotte, 2013) resultam em baixas taxas de decomposição da liteira, e baixa qualidade nutritiva (material pouco digerível) para as minhocas (Zheng et al., 2018), que tendem a preferir materiais como polissacarídeos, que são aproveitados melhor como fonte de alimento (Zeibich et al., 2019). Não obstante, Sousa (2003) observou um alto número de animais da macrofauna, especialmente anfípodas, tatuzinhos e minhocas em amostras de liteira em decomposição numa floresta Ombrófila Mista Aluvial, evidenciando que esses organismos podem estar tendo um importante efeito (ainda não avaliado) na decomposição da liteira. Maiores esforços de pesquisa ainda são necessários para elucidar a importância da qualidade da liteira no controle das populações da fauna edáfica em Florestas com Araucária, e o papel da mesma na decomposição da serapilheira e a ciclagem dos nutrientes nessas florestas.



Nos três municípios onde as Florestas com Araucária e os plantios florestais foram avaliados simultaneamente (Tabela 4), observou-se: 1) menor população de minhocas nos plantios de araucária em Três Barras (0 ind. m⁻²) que na floresta nativa (14 ind. m⁻²) da Floresta Nacional de Três Barras (Clasen, 2011); 2) menor abundância de minhocas em reflorestamento de araucária do que na floresta nativa, mas maior abundância no reflorestamento submetido à queima acidental, que na floresta nativa do Parque Estadual de Campos do Jordão (Baretta et al., 2007b); 3) maior abundância de *P. corethrurus* e *A. gracilis* e menor abundância de *A. corticis* nos plantios de araucária que nos fragmentos de floresta nativa da Embrapa Florestas, em Colombo (Lima, 2011; Silva et al., 2019). A maior abundância de *P. corethrurus* esteve associada aos solos com maior pH, maior capacidade de troca de cátions (CTC), maiores teores de areia, e menores teores de argila e acidez potencial (H+Al), enquanto a presença de *A. corticis* esteve associada a solos com menor densidade aparente, maior acidez potencial, maiores teores de argila, matéria orgânica e umidade (Lima, 2011; Silva et al., 2019). Portanto, os reflorestamentos e plantios de araucária representam habitats diferentes daqueles da floresta nativa, e podem ter maiores ou menores populações desses animais. Contudo, as implicações e importância dessas diferenças ainda precisam ser melhor estudadas.

A biomassa das minhocas, uma medida indireta do impacto das mesmas sobre o solo, sua estrutura e seu funcionamento, foi avaliada em apenas 14 locais (Tabela 4). Biomassas acima de 17 g m⁻² são consideradas altas, e com potencial de influenciar significativamente o crescimento vegetal (Brown et al., 1999). Altos valores de biomassa foram encontradas em apenas um local com floresta nativa, em Castro, PR (Tanck et al., 2000), e em dois reflorestamentos com araucária em Colombo (Lima, 2011). Na floresta em Castro, predominaram espécies de *Amyntas* sp., enquanto nos plantios em Colombo predominou *P. corethrurus*. Essas minhocas são conhecidas como promotoras do crescimento vegetal (Brown et al., 1999). *Amyntas* são originárias da Ásia, enquanto *P. corethrurus* é peregrina ao Sul do Brasil, sendo originária da região do Platô das Guianas. Essas espécies cosmopolitas provavelmente invadiram a floresta nativa, a partir de áreas agrícolas adjacentes em Castro, onde *Amyntas* era muito abundante (Tanck et al., 2000). Em Colombo, *P. corethrurus* provavelmente foi introduzida com mudas de plantas e, sendo partenogenética, se reproduziu e colonizou os solos das áreas, que haviam sido adubados e corrigidos (calagem para redução da acidez) no passado, quando eram áreas de produção agrícola na Embrapa Florestas, antes de 1978 (Silva et al., 2019).

Pouco se sabe do impacto das minhocas sobre o crescimento da araucária e sobre a produção de espécies arbóreas em geral (Scheu, 2003), principalmente devido ao longo tempo necessário para realizar ensaios em casa de vegetação, com minhocas e espécies arbóreas de crescimento lento. Contudo, um estudo com mudas de araucária e as minhocas *A. corticis* (Azevedo, 2010) mostrou efeitos negativos na biomassa aérea e de raízes devido à inoculação com minhocas, após 210 dias. Porém, o ensaio teve alta mortalidade das minhocas, e os potes provavelmente eram pequenos demais para manter os indivíduos vivos e ativos por longo prazo, problemas frequentemente observados nos ensaios em casa de vegetação, com minhocas e plantas (Brown et al., 1999, 2004). Considerando a alta biomassa encontrada em alguns locais com araucária, esses representam oportunidades interessantes para pesquisas aplicadas em relação aos impactos da invasão desses solos por espécies cosmopolitas, sobre o funcionamento do solo e a provisão de serviços ecossistêmicos edáficos.



Conclusões

A fauna edáfica e epiedáfica é um componente importante dos solos das Florestas com Araucária, representando um zoológico subterrâneo, em geral, pouco conhecido e pouco explorado em estudos taxonômicos, e que merece maior atenção, particularmente para os grupos menos explorados (como a microfauna), e aqueles com potencial de encontrar novas espécies (minhocas, Collembola, enquitreídeos). Apesar de já terem sido estudadas as populações de meso e macrofauna edáfica/epiedáfica em um número razoável de locais no Brasil, ainda não existe um conhecimento básico dos efeitos funcionais da fauna edáfica e epiedáfica sobre o solo, particularmente aqueles considerados importantes para a provisão de serviços ecossistêmicos, como a estruturação do solo, o controle biológico, a pedogênese, a ciclagem de nutrientes, o sequestro de carbono, a emissão de gases de efeito estufa e a produtividade vegetal. Maiores esforços são necessários, tanto em nível de casa de vegetação quanto in situ no campo, visando esclarecer o papel dessa fauna nas Florestas com Araucária.

Agradecimentos

Esse trabalho recebeu apoio da Embrapa Florestas, da Universidade Federal do Paraná, da Université de Montpellier, e do CNPq (Processos 310690/2017-0 e 404191/2019-3). Os autores agradecem à Marie Bartz e Yong Hong pela cessão de fotografias de minhocas.

Referências

- ANDERSON, J.; INGRAM, J. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 1993. v. 1.
- ASSIS, O. **Enquitreídeos (Enchytraeidae, Oligochaeta) como indicadores do manejo do solo e em ensaios ecotoxicológicos**. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- AZEVEDO, P. T. M. **Minhocas, fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em mudas de *Araucaria angustifolia***. 2010. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- AZEVEDO, V. F.; LIMA, D. A.; CORREIA, M. E. F.; AQUINO, A. M.; SANTOS, H. P. Fauna de solo em diferentes sistemas de plantio e manejo no planalto médio do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria, RS. **Biodinâmica do solo: guia do congressista**. [Viçosa, MG]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; [São Paulo]: Sociedade Brasileira de Microbiologia; Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, 2000. Fertbio 2000
- BARCIK, L. Z. **Entomofauna associada a quatro composições florestais na região de Irati-PR**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.
- BARETTA, D.; BRESCOVIT, A. D.; KNYSAK, I.; CARDOSO, E. J. B. N. Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (Aracnida:Araneae) in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 375-383, 2007a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000400008>.
- BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26, p. 135-150, 2010.



BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; CARDOSO, E. J. B. N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic Forest with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 384-392, 2007b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000400009>.

BARETTA, D. **Fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo**. 2007. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

BARETTA, D.; FERREIRA, C. S.; SOUSA, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como indicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2693-2699, 2008.

BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; JAMES, S. W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 59-70, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.003>.

BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 39-48, 2013.

BIANCHI, M. O.; AQUINO, A. M.; ALMEIDA, E. Distribuição vertical da macrofauna do solo em várias safras do milho agroecológico em área do produtor familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: UFRGS Solos: SBSC, Núcleo Regional Sul, 2007.

BRANCHER, D.; ROZA-GOMES, M. F. Survey of edaphic fauna in forest fragment in the municipality of Anchieta (SC, Brazil). **Biota Neotropica**, v. 12, n. 3, 2012.

BRITZ, R. M.; REISSMAN, C. B.; SILVA, S. M.; SANTOS FILHO, A. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária, São Mateus do Sul, PR. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 2., São Paulo, 1992. **Anais [...]**. São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p. 766-772. (Revista do Instituto Florestal, 4).

BROWN, G. G.; EDWARDS, C. A.; BRUSSAARD, L. How earthworms affect plant growth: Burrowing into the mechanisms. In: EDWARDS, C. A. (ed.). **Earthworm ecology**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p. 13-49.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W. Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. (ed.). **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 297-381.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; PASINI, A.; NUNES, D. H.; BENITO, N. P.; MARTINS, P. T.; SAUTTER, K. D. Exotic, peregrine and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution and effects on soils and plants. **Caribbean Journal of Science**, v. 42, p. 339-358, 2006.

BROWN, G. G.; PASHANASI, B.; VILLENAVE, C.; PATRÓN, J. C.; SENAPATI, B. K.; GIRI, S.; BAROIS, I.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; BLAKEMORE, R. J.; SPAIN, A. V.; BOYER, J. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. F. (ed.). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. Wallingford: CAB International, 1999. p. 87-147.

BROWN, G. G.; PASINI, A.; BENITO, N. P.; AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems: a preliminary analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MANAGING BIODIVERSITY IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS, 2001, Montreal. [**Proceedings**]. Montreal: UNU, 2001. Available at: <http://unu.edu/env/plec/cbd/abstracts/Brown.doc>.

BROWN, G. G.; SILVA, E. da; THOMAZINI, M. J.; NIVA, C. N.; DECAËNS, T.; CUNHA, L. F. N.; NADOLNY, H.; DEMETRIO, W.; SANTOS, A.; FERREIRA, T.; MAIA, L.; CONRADO, A. C.; SEGALLA, R.; FERREIRA, A. C.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; JAMES, S. W.; BARETTA, D.; ANTONIOLLI, Z. I.; LAVELLE, P.; BRIONES, M. J. I.; SOUSA, J. P.; RÖMBKE, J.; LAVELLE, P. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. 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. 121-154.



- BROWN, G. G.; SILVA, E.; THOMAZINI, M. J.; NIVA, C. C.; DECAËNS, T.; CUNHA, L. F. N.; NADOLNY, H.; DEMETRIO, W. C.; SANTOS, A.; FERREIRA, T.; MAIA, L. S.; CONRADO, A. C.; SEGALLA, R. F.; FERREIRA, A. C.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; JAMES, S. W.; BARETTA, D. ANTONIOLLI, Z. I.; BRIONES, M. J. I.; SOUSA, J. P.; RÖMBKE, J.; LAVELLE, P. The role of soil fauna in soil health and delivery of ecosystem services. In: REICOSKY, D. (ed.). **Managing soil health for sustainable agricultura**: v. 1: Fundamentals. Oxford: Burleigh Dodds Science Publishing, 2018. p. 197-241.
- CARNEIRO, M. C.; ORTIZ, D. O.; ALEXANDRE, D.; CARNIEL, L. S. C.; DALLA ROSA, V. M.; BARETTA, D. Diversidade da fauna edáfica em florestas plantadas e mata nativa. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL CIÊNCIA, SAÚDE E TERRITÓRIO, 4., 2017, Lages. **Alimentos seguros, nutritivos e suficientes**: anais. Lages: Uniplac, 2017. p. 96.
- CARVALHO, D. S. **Características da serapilheira e do solo sob florestas de coníferas e folhosas em Rio Negro, PR**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CLASEN, L. A. **Abundância e diversidade da macrofauna edáfica em diversos ecossistemas na região da Floresta Nacional de Três Barras – Santa Catarina**. 2011. Monografia (Graduação em Biologia) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.
- CLASEN, L. A.; BROWN, G. G. Macrofauna do solo (abundância e diversidade) em diversos ecossistemas na região da Floresta Nacional de Três Barras, SC. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 10., 2011, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Embrapa Florestas. Documentos, 225).
- COLEMAN, D. C.; CROSSLEY JR., D. A.; HENDRIX, P. F. **Fundamentals of soil ecology**. 2nd ed. Cambridge: Academic Press, 2004.
- COPATTI, C. E.; GASPARETTO, F. M. Diversidade de insetos em diferentes tipos de borda em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Biociências**, v. 18, n.2, p. 32-40, 2012.
- CÓRDOVA, M.; CHAVES, C. L.; MANFREDI-COIMBRA, S. Fauna do solo x vegetação: estudo comparativo da diversidade edáfica em áreas de vegetação nativa e povoamentos de *Pinus* sp. **Geoambiente**, v. 12, p. 30-41, 2009.
- DA CRUZ, M. G.; SILVERIO, M.; MASCHIO, W.; BROWN, G. G. Diversidade da fauna edáfica em floresta ombrófila mista e reflorestamento com *Araucaria angustifolia*, Embrapa Florestas – PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8. **Fontes de nutrientes e produção agrícola**: modelando o futuro: anais. Viçosa, MG: SBCS, 2010. p. 1-3. CD-ROM. FERTBIO 2010.
- DECAËNS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J. J. Priorities for conservation of soil animals. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 3, n. 14, p. 1-18, 2008.
- DEMETRIO, W. C.; ASSIS, O.; NIVA, C. C.; BARTZ, M. L. C.; PAES, L.; CARDOSO, G.; FERREIRA, S.; SANTOS, E.; MARZAGÃO, M.; NADOLNY, H.; SAUTTER, K.D.; BROWN, G. G.; Comparison of soil invertebrate communities in organic and conventional production systems in Southern Brazil. **Soil Organisms**, v. 92, no. 2, p. 143-157, 2020.
- DEMETRIO, W. C.; SANTOS, A.; FERREIRA, T.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; TORRES, J. L. M.; DUDAS, R.; OLIVEIRA, V.; BARRETO, J.; JAMES, S. W.; SILVA, E. da; BROWN, G. G.; BARTZ, M. L. C. Earthworm species in various land use systems in the Campos Gerais region of Lapa, Paraná, Brazil. **Zootaxa**, v. 4496, p. 503-516, 2018.
- DUARTE, M. M. Abundância de microartrópodes do solo em fragmentos de mata com araucária no sul do Brasil. **Iheringia, Série Zoológica**, v. 94, p. 163-169, 2004.
- DUDAS, R. T.; OLIVEIRA, V.; SANTOS, A.; SILVA, E. da; VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; BROWN, G. G.; BARTZ, M. L. Caracterização da macrofauna edáfica na RPPN Uru. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE POSITIVO, 2016, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Universidade Positivo, 2016. EPIC 2016.
- FEIJOO, A.; BROWN, G. G.; JAMES, S. W. New species of *Andiorrhinus* Cognetti, 1908 (Oligochaeta: Rhinodrilidae) from Venezuela and Brazil. **Zootaxa**, v. 4363, p. 55-78, 2017.



- FEIJOO, A.; BROWN, G. G. New species of *Glossoscolex* and *Fimoscolex* earthworms (Oligochaeta: Glossoscolecidae) from Embrapa Forestry, Paraná, Brazil. **Zootaxa**, v. 4496, p. 492-502, 2018.
- FERNANDES, J. O.; UEHARA-PRADO, M.; BROWN, G. G. Minhocas exóticas como indicadoras de perturbação antrópica em áreas de Floresta Atlântica. **Acta Zoológica Mexicana** (nueva série), v. 26, p. 211-217, 2010.
- FERREIRA, S. A. **Avaliação visual da estrutura e macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo no subtropico brasileiro**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FERREIRA, T.; SANTOS, A.; DEMETRIO, W.; CARDOSO, G. B. X.; MORAES, R.; ASSIS, O.; NIVA, C. C.; SMOKANIT, M.; KNÓPIK, J.; SAUTTER, K. D.; BROWN, G. G.; BARTZ, M. L. C. Earthworm species in public parks in Curitiba, Paraná, Brazil, **Zootaxa**, v. 4496, p. 535-547, 2018.
- FRANCO, R. **Fauna edáfica sob modelos em estágio inicial de restauração de floresta subtropical**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, Pato Branco.
- GABRIAC, Q. **Étude de la diversité et des populations de la macrofaune édaphique dans les écosystèmes brésiliens**. 2020. Dissertação (Mestrado em Biodiversité, Ecologie, Evolution) - Université de Montpellier, França.
- HUMMEL, J.; GEE, C. T.; SÜDEKUM, K.-H.; SANDER, P. M.; NOGGE, G.; CLAUSS, M. In vitro digestibility of fern and gymnosperm foliage: implications for sauropod feeding ecology and diet selection. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 275, p. 1015-1021, 2008.
- INKOTTE, J. **Produção de serapilheira e aporte de nutrientes e carbono em plantações de eucalipto e florestas nativas em duas regiões de Santa Catarina**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- ISO. International Organization for Standardization. **ISO 23611-1**: soil quality: sampling of soil invertebrates. 2nd ed. Geneva, Switzerland, 2018.
- KRABBE, E. L.; DRIEMEYER, D. J.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N. Avaliação populacional de oligoquetas e características físicas do solo em diferentes sistemas de cultivo. **Ciência Rural**, v. 23, n. 1, p. 21-26, 1993.
- KRABBE, E. L.; DRIEMEYER, D. J.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N. Efeitos de diferentes sistemas de cultivo sobre a população de oligoquetas e características físicas do solo. **Ciência Rural**, v. 24, p. 49-53, 1994.
- LANGE, M.; WEISSER, W. W.; GOSSNER, M. M.; KOWALSKI, E.; TÜRKE, M.; JONER, F.; FONSECA, C. R. The impact of forest management on litter-dwelling invertebrates: a subtropical-temperate contrast. **Biodiversity Conservation**, v. 20, p. 2133-2147, 2011.
- LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; GHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, p. 159-193, 1997.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.-P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S3-S15, 2006.
- LEÃO, A. F. **Diversidade de coleópteros em sistemas florestais no município de Curitiba, SC**. 2018. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba.
- LEIVAS, F. W. T.; FISCHER, M. L. Avaliação da composição de invertebrados terrestres em uma área rural localizada no município de Campina Grande do Sul, Paraná, Brasil. **Biotemas**, v. 21, n. 1, p. 65-73, 2008.
- LEIVAS, F. W. T.; GROSSI, P. C.; ALMEIDA, L. M. Histerid beetles (Staphyliniformia: Coleoptera: Histeridae) from Campos Gerais, Paraná, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, p. 196-204, 2013.
- LEWINSOHN, T. M.; FREITAS, A. V. L.; PRADO, P. I. Conservação de invertebrados terrestres e seus habitats no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, p. 62-69, 2005.



LIMA, D. A.; CORREIA, M. E. F.; SANTOS, H. P.; AQUINO, A. M.; MANTO, L.; FONTANELI, R. S. Influência de diferentes sistemas de preparo de solo e rotações de culturas sobre a macrofauna do solo em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002. Rio de Janeiro, RJ. **Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado: guia do congressista**. Rio de Janeiro: UFRRJ: Embrapa Agrobiologia: Embrapa Solos, 2002. 201 p. 201 p. Fertbio 2002.

LIMA, O. G. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em plantios florestais e floresta Ombrófila Mista na Embrapa Florestas, Colombo-PR**. 2011.67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MACHADO, J. S.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SANTOS, J. C. P.; PAULINO, A. T.; BARETTA, D. Morphological diversity of springtails (Hexapoda: Collembola) as soil quality bioindicators in land use systems. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 1, e20180618, 2019.

MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; MEDEIROS, J. C.; ROSA, J. D.; FONTOURA, S. M. V.; COSTA, F. S.; BAYER, C. Manejo do solo e fauna edáfica em experimento de longa duração na região de Guarapuava, PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: SBCS/UFMT-DSEER, 2002. p. 1-5. CD-ROM.

MARINONI, R. C.; GANHO, N. G. Fauna de Coleoptera no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Abundância e riqueza das famílias capturadas através de armadilhas de solo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, p. 727-736, 2003.

MARTINS, M. F. O.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; ZAGATTO, M. R. G.; SANTOS, A.; NALDONY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; NIVA, C. C.; BARTZ, M. L. C.; FEITOSA, R. M. Accessing the subterranean ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) in native and modified subtropical landscapes in the Neotropics. **Biota Neotropica**, v. 20, e20190782, 2020.

MARTINS, M. O. F. **Assembleias de formigas subterrâneas (Hymenoptera: Formicidae) de três regiões do Sul do Brasil: diferentes sistemas de uso do solo e avaliação da técnica TSBF para amostragem**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MERLIM, A. O.; AQUINO, A. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Larvas de Coleoptera em ecossistemas de araucária no Parque Estadual de Campos de Jordão, SP. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1303-1306, 2006.

MERLIM, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados no Parque Estadual de Campos de Jordão, SP**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NADOLNY, H. S.; SANTOS, A.; DEMETRIO, W.; FERREIRA, T.; MAIA, L. S.; CONRADO, A. C.; BARTZ, M.; GARRASTAZU, M.; SILVA, E. da; LAVELLE, P.; BARETTA, D.; PASINI, A.; VEZZANI, F.; SOUZA, J. P.; CUNHA, L.; MATHIEU, J.; RÖMBKE J.; BROWN, G. G. **Data from: recommendations for assessing earthworm populations in Brazilian ecosystems**. Dryad, v. 5, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.5061/dryad.4md0s64>.

NADOLNY, H. S.; SANTOS, A.; DEMETRIO, W.; FERREIRA, T.; MAIA, L. S.; CONRADO, A. C.; BARTZ, M.; GARRASTAZU, M.; SILVA, E. da; LAVELLE, P.; BARETTA, D.; PASINI, A.; VEZZANI, F.; SOUZA, J. P.; CUNHA, L.; MATHIEU, J.; RÖMBKE J.; BROWN, G. G. Recommendations for assessing earthworm populations in Brazilian ecosystems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, e01006, 2020a.

NIVA, C. C.; CEZAR, R. M.; FONSECA, P. M.; ZAGATTO, M. R. G.; OLIVEIRA, E. M.; BUSH, E. F.; CLASEN, L. A.; BROWN, G. G. Abundância de enquitreídeos na Floresta Ombrófila Mista determinada por extração úmida quente e fria. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 169-175, 2015.

OLIVEIRA, E.; CESAR, R. M.; ZAGATTO, M. R.; FONSECA, P. M.; BROWN, G. G. Avaliação da macrofauna edáfica sob dois métodos de coleta - TSBF e pitfall traps em fragmento de floresta ombrófila mista. 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. 1 CD-ROM. Fertbio 2012.



OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; PEREIRA, J. M.; CARDOSO, E.J.B.N. Fauna edáfica em ecossistemas florestais. In: FONTES, N. L. P.; FORTES NETO, P. (ed.). **Ciências Ambientais**: vol. II. São Paulo: UNITAU, 2018a.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SCHNEIDER, L. F.; TELES, J. S.; WERTER, J. D.; SANTOS, J. C. P. Fauna edáfica em áreas com diferentes manejos e tempos de descarte de resíduos animais. **Revista Scientia Agraria**, v. 19, n.1, p. 113-123, 2018b.

ORGIAZZI, A.; BARDGETT, R. D.; BARRIOS, E.; BEHAN-PELLETIER, V.; BRIONES, M. J. I.; CHOTTE, J.-L.; DE DEYN, G. B.; EGGLETON, P.; FIERER, N.; FRASER, T.; HEDLUND, K.; JEFFERY, S.; JOHNSON, N. C.; JONES, A.; KANDELER, E.; KANEKO, N.; LAVELLE, P.; LEMANCEAU, P.; MIKO, L.; MONTANARELLA, L.; MOREIRA, F. M. S.; RAMIREZ, K. S.; SCHEU, S.; SINGH, B. K.; SIX, J.; VAN DER PUTTEN, W. H.; WALL, D. H. (ed.). **Global soil biodiversity atlas**. Luxembourg: European Commission, 2016.

ORTIZ, D. O.; ALEXANDRE, D.; CARNIEL, L. S. C.; CARNEIRO, M. C.; DALLA ROSA, V. M.; BARETTA, D. Macrofauna do solo em diferentes ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL CIÊNCIA, SAÚDE E TERRITÓRIO, 4., 2017, Lages. **Alimentos seguros, nutritivos e suficientes**: anais. Lages: Uniplac, 2017. p. 116.

ORTIZ, D. O. **Efeito do plantio de *Pinus elliottii* para a fauna edáfica e para a germinação de sementes**: estudos na Floresta Nacional de Três Barras. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos.

PECH, T.; ORTIZ, D. O.; MARTINAZZO, N. M.; SIMINSKI, A.; NIEMEYER, J. C. Macrofauna do solo em mata nativa, plantio de *Pinus elliottii* e plantio de *Araucaria angustifolia* na FLONA de Três Barras, SC. 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.

PEREIRA, J. M. **Atributos biológicos como indicadores de qualidade do solo em Floresta de Araucária nativa e reflorestada no Estado de São Paulo**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

PEREIRA, J. M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em florestas de Araucária. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. (ed.). **Floresta com Araucária, composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 153-180.

PEREIRA, J. M.; BARETTA, D.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica e suas relações com atributos químicos, físicos e microbiológicos em Floresta de Araucária. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 242-257, 2020.

PEREIRA, J. M.; BARETTA, D.; VASCONCELOS, R. L. F.; ROCHA, L. C. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em floresta de araucária no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Ciência do solo: para quê e para quem**: anais. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

PEREIRA, J. M.; CARDOSO, E. J. B. N.; BRESCOVIT, A. D.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SEGAT, J. C.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Soil spiders (Arachnida: Araneae) in native and reforested *Araucaria* forests. **Scientia Agricola**, v. 78, n.3, e20190198, 2021.

PEREIRA, J. M.; SEGAT, J. C.; BARETTA, D.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil macrofauna as a soil quality indicator in native and replanted *Araucaria angustifolia* forests. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160261, 2017.

POMPEO, P. N.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, Á. L.; BARETTA, D. Coleoptera diversity and soil properties in land use systems. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 3, e20180068, 2020.

POMPEO, P. N.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, Á. L.; MALUCHE -BARETTA, C. R. D.; BARETTA, D. Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Scientia Agraria**, v. 17, p. 16-28, 2016a.

POMPEO, P. N.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SANTOS, M.A. B.; MAFRA, Á. L.; KLAUBERG FILHO, O.; BARETTA, D. Morphological diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. e0160433, 2017.



POMPEO, P. N.; SANTOS, M. A. B.; BIASI, J. P.; SIQUEIRA, S. F.; ROSA, M. G.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina - Brasil. **Scientia Agraria**, v. 17, p. 42-51, 2016b.

ROSA, M. G.; BRESCOVIT, A. D.; SANTOS, J. C. P.; BARETTA, C. R. D. M.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D. Diversity of soil spiders in land use and management systems in Santa Catarina, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 2, e20180619, 2019.

ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; BARTZ, M. L. C.; MAFRA, Á. L.; SOUSA, J. P. F. A. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1544-1553, 2015.

ROSA, M. G. **Macrofauna do solo em diferentes sistemas de uso no oeste e planalto catarinense**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

RUIZ, N. C.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J. J. **Soil macrofauna field manual**. Rome: FAO, 2008. (Technical level).

SANTOS, E. dos; BROWN, G. G.; CARDOSO, G. B. X.; NADOLNY, H.; PAES, L. S. O. P.; ASSIS, O.; FERREIRA, S. A.; DEMETRIO, W. C. Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de uso do solo no município de Quitandinha, PR. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 31.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 15.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 10., 2014, Araxá. **Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologias para todos: anais**. Araxá: Núcleo Regional Leste da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. Resumo. FERTBIO 2014.

SANTOS, E. dos; VARGAS, G.; MELLO FILHO, N.; BROWN, G. G. Comparação entre diferentes métodos de coleta de minhocas em dois diferentes sistemas florestais. **Scientia Vitae**, v. 3, p. 34-40, 2016.

SANTOS, E.; TOLEDO, V. G.; FERNANDES, H.; PEREIRA, L. A. Macrofauna edáfica invertebrada como bioindicador em dois diferentes fragmentos remanescentes de floresta ombrófila mista no Paraná. **Enciclopédia Biosfera**, v.16, n. 29, p. 1010-1025, 2019.

SCHEU, S. Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. **Pedobiologia**, v. 47, p. 846-856, 2003.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; HERNANDES, J. I.; KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 29-37, 2004.

SILVA, E. da; LIMA, O. G.; ANDRADE, D. P.; BROWN, G. G. Earthworm populations in forestry plantations (*Araucaria angustifolia*, *Pinus elliottii*) and Native Atlantic forest in Southern Brazil compared using two sampling methods. **Pedobiologia**, v. 72, p. 1-7, 2019.

SILVA, W. L. da. **Fauna edáfica em mata de araucária do Município de Senador Amaral no sul de Minas Gerais**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Inconfidente.

SILVANO, C.; LIMA, O. G.; BROWN, G. G. Abundância de oligoquetas terrestres em áreas de floresta Ombrófila Mista e plantação de *Araucaria angustifolia*, utilizando dois métodos de coleta. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA E TAXONOMIA DE OLIGOQUETAS, 4., 2010, Curitiba. **Minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas: anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 199).

SMOKANIT, M.; BROWN, G. G.; NIVA, C.; SAUTTER, K. D.; BARTZ, M. L. C. Biodiversidade da macrofauna edáfica em parques urbanos de Curitiba, Paraná, Brasil. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE POSITIVO, 7., 2016, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Universidade Positivo, 2016.

SOUSA, S. G. A. **Produção e decomposição de serapilheira de uma floresta ombrófila mista aluvial, Rio Barigüi, Araucária, PR**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1979.

TANCK, B. C. B.; SANTOS, H. R.; DIONÍSIO, J. A. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a flutuação populacional do oligochaeta edáfico *Amyntas* spp. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 409-415, 2000.



- TESSARO, D. **Doses de água residuária da suinocultura nas lavouras de milho, aveia e soja e suas influências sobre a meso e macrofauna do solo.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UNIOESTE, Cascavel.
- TORRES, J. M.; SANTOS, A.; SILVA, E.; VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; BROWN, G. G.; BARTZ, M. L. C. Diversidade taxonômica e funcional de oligoquetas terrestres na RPPN Uru. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE POSITIVO, EPIC 2016, 2016, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Universidade Positivo, 2016.
- TRIGO, P.; LIMA, J.; NERONI, R.; LAMMEL, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Interações ecológicas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. (ed.). **Floresta com Araucária, composição florística e biota do solo.** Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 253-266.
- WIGGERS, S. G. **Fauna edáfica em fragmentos de floresta ombrófila mista altomontana no planalto sul catarinense.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- ZEIBICH, L.; SCHMIDT, O.; DRAKE, H. L. Dietary polysaccharides: fermentation potentials of a primitive gut ecosystem. **Environmental Microbiology**, v. 21, n. 4, p. 1436-1451, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14556>.
- ZHENG, Y.; WANG, S.; BONKOWSKI, M.; CHEN, X.; GRIFFITHS, B.; HU, F.; LIU, M. Litter chemistry influences earthworm effects on soil carbon loss and microbial carbon acquisition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 123, p. 105-114, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.05.012>.



8

Doenças em araucárias

Celso Garcia Auer
Álvaro Figueredo dos Santos

Introdução

A araucária ou pinheiro-do-paraná, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, foi uma das principais fontes de madeira serrada na região Sul do Brasil e Nordeste da Argentina (Deschamps; Wright, 1997), sendo uma das bases de desenvolvimento econômico da região, nos séculos XVIII e XIX, mas, no momento, a espécie encontra-se em risco de extinção. No passado, a araucária foi uma importante fonte de renda de muitas empresas madeireiras dessa região, com a comercialização e exportação da madeira serrada para uso em mobiliário e para construções rural e urbana. Em função da redução na oferta de matéria-prima, iniciou-se um processo de substituição da araucária pelos pinheiros da América do Norte e Europa, como forma de manter ativo o parque industrial baseado na araucária, nos meados do século XX.

Há poucos relatos fitossanitários dessa espécie no Brasil, sendo que os primeiros surgiram por ocasião do início de sua silvicultura.

A descrição e medidas de controle das principais doenças de *Araucaria angustifolia* são fornecidas neste capítulo.

Tombamento de mudas

O tombamento de mudas foi uma das primeiras doenças registradas, em função da demanda por mudas para a formação das florestas plantadas da espécie. Nesta situação, o uso de sementeiras com solo não esterilizado favorecia a incidência de patógenos de solo. Atualmente, é uma doença de importância secundária devido às melhorias das técnicas de produção de mudas. Os patógenos responsáveis pelo tombamento são fungos dos gêneros *Cylindrocladium*, *Fusarium* e *Rhizoctonia*.

Fotos: Celso Garcia Auer

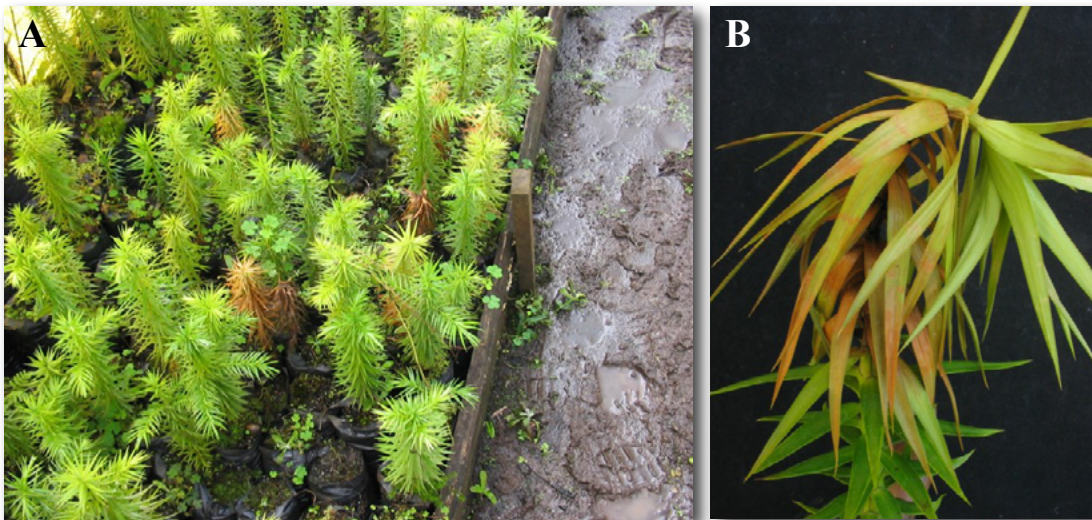


Figura 1. Tombamento e morte de mudas de araucária. (A) ocorrência em canteiro de mudas; (B) detalhe do tombamento da muda indicado pelo entortamento e seca do ponteiro.

A doença se inicia na fase de germinação das sementes, quando os patógenos atacam as plântulas, causando destruição dos tecidos tenros da radícula e hipocótilo que pode progredir para a morte da planta toda, ao longo do tempo (Figura 1A). O sintoma inicial pode ser o entortamento do ponteiro para baixo (Figura 1B). As fontes de inóculo primárias são sementes, substratos, água de irrigação e os próprios viveiros (instalações, tubetes e piso) contaminados. Uma vez presente no viveiro, os propágulos dos patógenos tornam-se fontes secundárias de inóculo, que pode ser disseminado pelo ar, respingos de água ou movimentação de mudas doentes.

Algumas práticas culturais simples podem ser aplicadas para o controle da doença. Recomenda-se o uso de sementes isentas de patógenos. O substrato deve ser esterilizado ou de fonte idônea. A água de irrigação deve ser de fonte que garanta a sua qualidade sanitária. O monitoramento das mudas deve ser rotineiro para a detecção precoce da doença e evitar a disseminação no viveiro. Em caso da constatação da doença, as mudas doentes devem ser descartadas e destruídas, bem como efetuar a limpeza e assepsia das instalações e recipientes de mudas para a eliminação de inóculo. O controle químico é eficiente, contudo faltam produtos registrados; além disso, podem afetar a formação de micorrizas nas raízes das mudas.

Podridão de raízes por *Fusarium*

Algumas espécies de *Fusarium* podem causar podridão de raízes em mudas. Os sintomas iniciais caracterizam-se pelo amarelecimento, murcha e bronzeamento da parte aérea das mudas, seguido de morte.

Para o controle, podem ser utilizadas as mesmas medidas recomendadas para o tombamento de mudas.

Podridão de raízes por *Armillaria* ou armilariose

A armilariose ou podridão de raízes causada pelo fungo *Armillaria* (Figura 2A) ocorre em grande número de plantas lenhosas no mundo. No Brasil, a doença foi relatada causando a podridão de raízes (Figura 2B) e a morte de árvores de espécies frutíferas como macieiras, pessegueiros e videiras, além de árvores de *Pinus*, nos estados das regiões Sul e Sudeste (Auer; Santos, 2016). A doença é raramente observada em espécies nativas, tais como araucária e bracatinga.

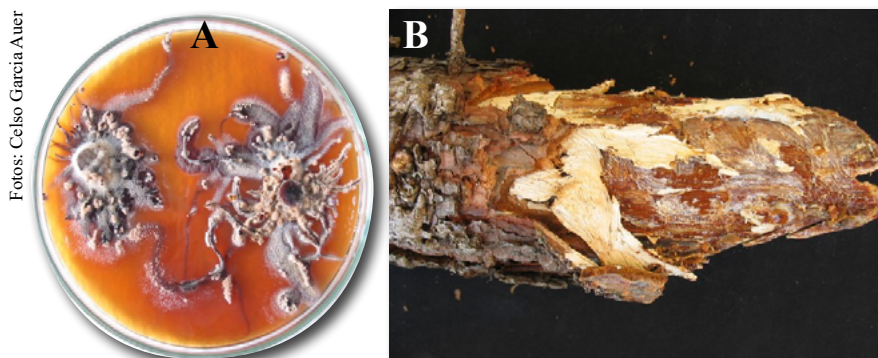


Figura 2. Podridão de raízes por *Armillaria*. (A) raiz morta e micélio do fungo; (B) aspecto aracnoide do fungo em meio de cultura.



A doença ocorre em áreas recém-desmatadas, onde são deixadas grandes quantidades de resíduos vegetais (tocos e raízes de plantas doentes) que funcionam como fontes de inóculo do patógeno. Outra possibilidade é a presença de fonte de inóculo resultante do ataque e morte de indivíduos em cultivos anteriores e que permanecem no solo. A mortalidade das árvores doentes tende a diminuir à medida em que a fonte original de inóculo é exaurida e as árvores tornam-se mais resistentes.

Outro fator determinante para a infecção e severidade do ataque pode ser a predisposição das árvores. Árvores debilitadas por fatores adversos (seca prolongada, sistema radicular subdesenvolvido ou enovelado e ataque de insetos) podem tornar-se predispostas ao ataque do fungo.

Para o controle, nas áreas recém-desmatadas, deve-se remover os tocos e restos de raízes da vegetação anterior e proceder um bom preparo do solo para plantio. Estas operações são de alto custo, mas efetivas.

Quando a doença tiver início em um pequeno foco, em plantios jovens com idades entre um e dois anos, recomenda-se a eliminação das árvores mortas, retirando-se o máximo das raízes infectadas, por meio da queima. Não existem produtos registrados, no Brasil, para o tratamento do solo. Mais informações sobre a armilariose em pinheiros foram apresentadas por Auer e Santos (2016).

Podridão de raízes por *Rosellinia*

Em 1953, a podridão de raízes foi relatada em árvores adultas de araucária causada pelo fungo *Rosellinia* sp. (Amaral, 1953). A doença é caracterizada pelo amarelecimento da copa da planta, seca dos ponteiros e queda de folhas, decorrentes da colonização do sistema radicular pelo fungo e escurecimento da base da árvore e raízes, com a presença de rizomorfias escuras (Oliveira, 1981). Segundo este autor, a doença ocorre em plantios feitos em áreas recém-desmatadas, sombreadas e úmidas. Esse fungo foi relatado por Oliveira (1981) como sendo *Rosellinia bunodes* (Berk. & Broome) Sacc. que ataca diversas espécies florestais. Quando as plantas apresentam declínio da copa, o sistema radicular se encontra totalmente comprometido, sem a possibilidade de recuperação do vigor.

As medidas de controle recomendadas por Oliveira (1981) se limitam ao arranquio e eliminação da planta e raízes doentes. Este autor também recomenda o tratamento do solo pela incorporação de cal virgem, para desinfestar o local onde as árvores doentes foram arrancadas, mas desconhece-se a comprovação da efetividade desta prática.

Podridão de raízes por *Cylindrocladium*

O primeiro relato desta doença ocorreu em 1969, no município paranaense de Jussara, em raízes de plantas de araucárias doentes, com idades entre 10 a 15 anos, apresentando declínio e morte (Hodges; May, 1972). O principal dano da doença é a morte dos indivíduos severamente atacados, de baixa incidência, e não existem dados epidemiológicos.

Em campo, a doença se manifesta de forma esparsa ou em forma de focos de árvores com folhas que amarelecem e secam, culminando com a morte da planta. Nas raízes, verificam-se lesões necróticas escuras na região da casca, com encharcamento de resina e pode haver exsudação para o solo, gerando uma massa de solo e resina aderida às raízes.

O agente causal foi inicialmente identificado como *Cylindrocladium clavatum* Hodges & May. Posteriormente, este fungo foi reclassificado para *Cylindrocladium gracile* (Bugnic.) Boesew. pertencente ao Complexo *Calonectria brassicae* (Panwar & Bohra) Lombard, M. J. Wingfield & Crous (Lombard et al., 2009).

Como a doença mostrou baixa incidência na época de seu registro, na década de 1970, poucas informações de controle foram aplicadas. A erradicação das plantas mortas, incluindo seu sistema radicular, associado à aplicação de produtos biológicos para patógenos de solo são as possíveis medidas de controle.

Podridão de raízes por *Phellinus*

O primeiro relato desta doença ocorreu em 1990, no município de Quedas do Iguaçu, PR (Figura 3B), em raízes de araucárias doentes, com idades entre 4 a 18 anos, apresentando podridão de raízes e da base da árvore (Figura 3A), seguidos por declínio e morte (Figura 3B) (Auer; Krugner, 1992). Uma espécie de *Phellinus* Quéél. foi observada em tecidos doentes, a partir do seu isolamento, e sua patogenicidade foi comprovada pela inoculação de árvores com idades variando entre quatro e 18 anos, em plantios localizados na mesma região. A medida de controle recomendada é a erradicação das plantas mortas, incluindo seu sistema radicular.



Figura 3. Aspectos gerais da podridão de raízes em araucária. (A) secamento da copa; (B) sintoma de raiz grossa morta.

Seca de ponteiros e outras doenças causadas por *Diplodia pinea*

A seca de ponteiros ocorre em diversas espécies de coníferas em todo o mundo. No Brasil, além de pínus, o fungo pode causar vários sintomas em araucária, como a morte de mudas (Oliveira, 1981), seca de ramos (Figura 4A) e ponteiros (Corrêa et al., 2012), manchamento da madeira recém-cortada (Oliveira, 1981) e a colonização do estróbilo masculino (Basilio, 2013).

A doença se inicia com lesões deprimidas de coloração cinza ou púrpura, formadas sobre tecidos verdes do ramo de plantas jovens, normalmente na base de um ponteiro infectado ou danificado e posterior exsudação de resina. O ponteiro pode curvar-se como resultado do crescimento de apenas



um lado do mesmo e pode morrer antes ou após o encurvamento. Os tecidos afetados em ramos e estróbilos também ficam escurecidos.

O agente causal é *Diplodia pinea* (Desm.) J. Kickx, que pode atuar como patógeno primário, saprófita, e endofítico em plantas. O ataque deste fungo pode ser decorrente de conídios disseminados a partir de árvores infectadas de pinus, nas proximidades de árvores de araucária. Picnídios escuros globosos são encontrados sob os tecidos da lesão, expelindo massas escuras de conídios (Figura 4B). Quando as lesões são velhas, os picnídios tendem a desaparecer, mas, ocasionalmente, os conídios são retidos sobre os tecidos ou ficam aderidos à resina. Os conídios são inicialmente hialinos tornando-se escuros na maturidade, irregularmente oblongos ou clavados com uma base truncada, em sua maioria sem septo, mas desenvolvendo um ou mais septos antes da germinação.



Figura 4. Aspectos gerais da seca de ramos por *Diplodia* em araucária. (A) secamento de ramo inoculado; (B) picnídio e conídios do fungo.

Fonte: Corrêa et al. (2012).

No caso de ocorrência da doença em mudas no viveiro, não existem produtos registrados para o controle. No caso do azulamento da madeira, a secagem e o processamento das toras logo após o abate são suficientes para evitar o problema.

Fungos de folhas

Vários fungos foram descritos por Butin e Speer (1978), no estado do Paraná, colonizando acículas vivas e debilitadas de araucária, causando amarelecimento e manchas castanhas, tais como: *Cirsosioopsis violascens* Butin e Speer, *Appendiculella araucariae* Butin e Speer, *Episphaerella araucariae* Butin e Speer, *E. serialis* Butin e Speer, *Xenomeris acicola* Butin e Speer, *Cycloshizon araucariae* (Rehm.) Arx., *Pseudomeliola brasiliensis* Speg., *Coccomyces araucariae* Butin e Speer. Pouco se conhece acerca dos danos e impactos desses fungos em árvores de araucária e também não existem recomendações de controle.

Morte de árvores por *Phytophthora*

Araucárias adultas podem morrer em decorrência do ataque de *Phytophthora*. Santos et al. (2011b) constataram mortalidade de árvores distribuída de forma esparsa (Figura 5A), em plantios com

idades entre 20 e 40 anos, localizados em Boaventura de São Roque, PR. Os principais sintomas encontrados nas árvores foram podridão na base do caule e raízes, bronzeamento da copa (Figura 5B) e morte. No isolamento, encontrou-se *Phytophthora cinnamomi* Rands (Figura 5C) cuja patogenicidade foi confirmada mediante inoculação de mudas de araucária com ferimentos no caule.



Figura 5. Morte de árvore de araucária por *Phytophthora*. (A) araucária em declínio; (B) bronzeamento de ramos superiores; (C) cultura de *Phytophthora cinnamomi*, agente causal.

Fonte: Santos et al. (2011b); Santos (2019).

Os isolados de *P. cinnamomi* caracterizam-se pela formação de hifas com intumescimento de tipo coralóide. Os isolados apresentam traços de crescimento a 12 °C e a 36 °C e os esporângios formados em extrato de solo são persistentes, não papilados e ovoides, com presença de clamidósporos. Os isolados formam oósporos heterotalicamente, com anterídios anfígenos, do grupo A2 (Santos et al., 2011b).

Quando a doença tiver início em pequeno foco, recomenda-se a eliminação das árvores mortas (tronco e raízes) e sua queima. As atividades de campo e movimentação de solo nas áreas com morte de árvores devem ser evitadas ou reduzidas ao mínimo, pois são as formas mais eficientes de disseminação de propágulos do patógeno.

Fungos em sementes

As sementes de araucária podem ser colonizadas por fungos saprofíticos e, ou patógenos facultativos (Figura 6), durante sua formação nos cones femininos, ainda nas árvores. Também, no período



de armazenamento, os fungos podem atacar os embriões e endosperma lesionando-os e reduzindo o poder germinativo da semente.

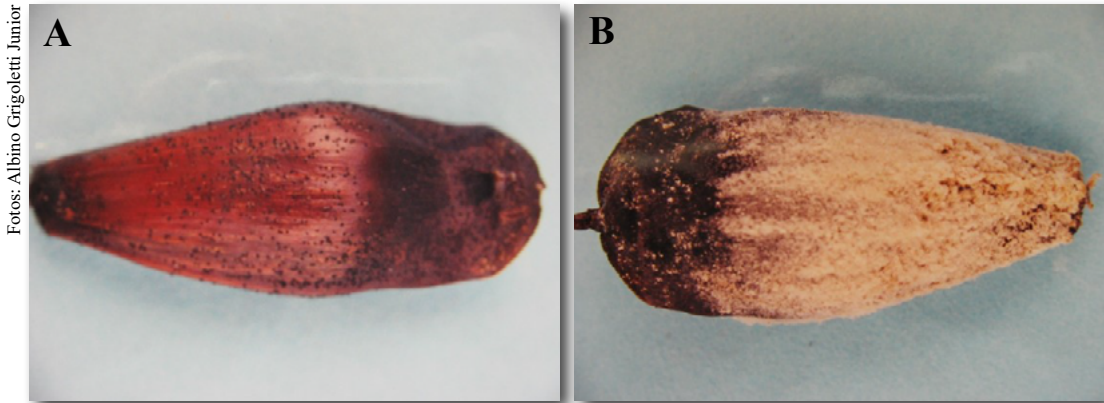


Figura 6. Colonização de sementes de araucária por fungos. (A) *Pestalotiopsis*; (B) *Fusarium*.

Outro tipo de dano, além da redução da germinação é a ocorrência de tombamento de plântulas durante a produção de mudas. Um exemplo disso ocorreu no estudo de Kamara et al. (1981), no Egito, com sementes de várias espécies de araucária, onde foram detectados diversos fungos fitopatogênicos como *Fusarium oxysporum* Schldt.: Fr., *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., *Fusarium* sp., *Pythium* sp. e *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn. Estes autores comprovaram que tais fungos podem causar tombamento de mudas de espécies de araucária, sendo que *F. solani* e *Pythium* sp. causaram a maior incidência de tombamento de pré-emergência e *R. solani* maior incidência de pós-emergência. No Brasil, Hennipman et al. (2017) encontraram vários fungos, como *Phomopsis* sp., *Pestalotiopsis* sp. (Figura 6A), *Cladosporium* sp. e *Schizophyllum commune* Fr.: Fr. em sementes de araucária. Estes autores comprovaram que o fungo *S. commune* pode prejudicar a germinação de sementes e a formação de mudas (Hennipman et al., 2017). Bizi et al. (2004) verificaram incidências diferenciadas de *Cylindrocladium*, *Fusarium* (Figura 6B), *Phomopsis* e *Rhizoctonia* em procedências de sementes de araucária, em três municípios do Paraná.

Práticas corretas de coleta, beneficiamento e armazenamento podem reduzir a população de fungos em sementes (Santos et al., 2011a). O controle químico pode ser eficiente contra fungos de sementes, entretanto não existem produtos registrados para araucária. Alternativamente, o uso de hipoclorito de sódio pode melhorar a qualidade fisiológica e sanitária de sementes de araucária (Hennipman et al., 2017).

Carvão da araucária

Fungos da ordem Ustilaginales são parasitas especializados que infectam flores e inflorescências, produzindo deformações ou queima destes órgãos (Butin; Peredo, 1986). O sinal característico destes fungos são os clamidósporos, de coloração escura, na forma de massa pulverulenta. A espécie *Uleiella paradoxa* J. Schröt. foi relatada em mudas de araucária com menos de um ano de idade, colonizando ramos e ponteiros, induzindo a novas infecções e à rebrota (Oliveira, 1981), podendo levá-las à morte. No caso de árvores adultas, o fungo pode infectar ramos que se tornam mais grossos, mas o principal sintoma ocorre nas inflorescências masculinas, onde causa grande



alteração morfológica, produzindo ramificação e escamas com tamanho bem maior que o normal, envolvidas parcial ou totalmente por esporos (clamidósporos) do fungo (Mattos, 1972). A rara ocorrência não tem indicado a necessidade de medidas de controle, a não ser a eliminação dos indivíduos extremamente afetados, para reduzir a fonte de inóculo.

Mancha azulada ou azulamento

Espécies de *Ceratocystis* são conhecidas por causar murchas vasculares em espécies florestais (Butin; Peredo, 1986) e podem ocasionar o manchamento da madeira de araucária. Butin (1978) relatou o fungo *Ophiostoma triangulosporum* Butin (= *Ceratocystis triangulospora* (Butin) H. P. Upadhyay) causando azulamento em árvores recém-cortadas, no estado do Paraná. Este azulamento foi caracterizado por manchas ou listras azuis escuras ou acinzentadas na superfície de toras descascadas.

Como medidas de controle, Deschamps e Wright (1997) destacaram as seguintes atividades: corte da árvore na época apropriada (tempo quente e seco), processando-a rapidamente sem deixá-la na floresta; e, em épocas mais impróprias para o corte de árvores (alta umidade), colocar as toras imersas em tanques com água até seu processamento mecânico.

Doenças não constatadas no Brasil

Mancha do cerne de árvore viva

A madeira de araucária recém-colhida em plantios localizados em Misiones, Argentina, pode apresentar manchas escuras no cerne que desaparecem quando fica seca (Deschamps; Wright, 1997). O agente causal é *Fusarium moniliforme* Sheldon. O principal sintoma é uma mancha de cor castanha-escura, de contornos sinuosos, observada desde a base da árvore até 7 m de altura e que, logo após o corte, fica mais escura. A doença se inicia pela entrada do fungo por aberturas naturais (ponto de inserção dos ramos) ou feridas decorrentes da poda dos ramos. Uma avaliação de 20 árvores, em plantio com 28 anos de idade, revelou que 65% estavam com manchamento interno e 17% do volume da madeira se encontrava com a mancha castanha (Deschamps; Wright, 1997). Nenhuma medida de controle foi relatada.

Cancro e apodrecimento interno da madeira

Na Argentina, na região de Misiones, houve relato da morte de plantas de araucária em decorrência da formação de cancro e apodrecimento interno do tronco (Deschamps; Wright, 1997). Este apodrecimento se apresentou com coloração castanha, com forte cheiro e a consistência da madeira afetada se assemelhou à cortiça. O agente causal foi *Fusarium robustum* Gerlach (Lindquist; Merlo, 1980), cujos sintomas foram reproduzidos quando árvores jovens (1 e 2 anos de idade) foram inoculadas com o fungo através de ferimento na casca. Nenhuma medida de controle foi relatada.



Problemas abióticos

Poucos relatos foram feitos com base nas condições edafoclimáticas e seus efeitos em araucárias. Deschamps e Wright (1997) comentaram sobre danos e morte de brotos de plantas jovens produzidas por frio e geada intensa, com temperaturas abaixo de 5 °C, em plantios a céu aberto. Segundo os autores, em condição natural de floresta, as baixas temperaturas não afetam as plantas jovens. Acerca do efeito de ventos fortes, Deschamps e Wright (1997) relataram que a araucária possui grande resistência e flexibilidade à ação mecânica e, normalmente, retoma à posição ereta.

Considerações finais

Apesar de toda a importância da araucária como espécie florestal produtora de excelente madeira para diversas finalidades, bem como o pinhão para a alimentação, os problemas fitossanitários relatados até o momento são poucos. Destacam-se as podridões de raízes e morte de plantas causados por fungos dos gêneros *Armillaria*, *Cylindrocladium*, *Phytophthora*, *Phellinus* e *Rosellinia*. Problemas potenciais que podem ser elencados estão relacionados com fungos em sementes e doenças em viveiros, que impactariam na produção de mudas de araucária. Por último, os fungos manchadores e apodrecedores podem provocar redução da qualidade da madeira serrada.

Referências

- AMARAL, J. F. Podridão das raízes de pinheiro. **O Biológico**, v. 19, n. 5, p. 100-101, 1953.
- AUER, C. G.; KRUGNER, T. L. Root and butt rot, and death of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze caused by *Phellinus* sp. **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 211, 1992.
- AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Doenças dos pinheiros. 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. 595-602.
- BASILIO, P. R. R. C. **Caracterização morfológica, patogênica e molecular de isolados de *Diplodia pinea***. 2013. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BIZI, R. M.; GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; AUER, C. G.; GOMES, N. S. B. Fungos associados a sementes de araucária coletadas em três municípios do Estado do Paraná. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 3., 2004, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. (Embrapa Florestas. Documentos, 102). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/310593>.
- BUTIN, H. A new species of *Ophiostoma* causing blue-stain in *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. **Phytopathologische Zeitschrift**, v. 91, n. 3, p. 230-234, 1978.
- BUTIN, H.; PEREDO, H. L. **Hongos parásitos en coníferas de América del Sur**. Vaduz: Cramer. 1986. (Bibliotheca Mycologica. 101).
- BUTIN, H.; SPEER, E. O. Über einige parasitische Ascomyceten auf Nadeln der Brasilianischen Araukarie. **Sydowia**, v. 31, n.1/6, p. 9-26, 1978.
- CORRÊA, P. R. R.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Patogenicidade de *Sphaeropsis sapinea* em árvores jovens de *Araucaria angustifolia*. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 84-86, 2012.
- DESCHAMPS, J. R.; WRIGHT, J. E. **Patología forestal del cono sur de América**. Buenos Aires: Orientación. 1997. 237 p.



HENNIPMAN, H. S.; SANTOS, A. F. dos; VIEIRA, E. S. N.; AUER, C. G. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de araucária durante armazenamento. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 643-654, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509827749>.

HODGES, C. S.; MAY, L. C. A root disease of pine, araucaria and eucalypts in Brazil caused by a new species of *Cylindrocladium*. **Phytopathology**, v. 62, n. 8, p. 898-901, 1972.

KAMARA, A. M.; EL-LAKANY, M. H.; BADRAN, O. A.; ATTIA, Y. G. Seed pathology of *Araucaria* spp. I. A survey of seed-borne fungi associated with four *Araucaria* spp. **Australian Forest Research**, v. 11, n.3/4, p. 269-274, 1981.

LINDQUIST, J. C.; MERLO, P. A. La caries del pino paraná (*Araucaria angustifolia*) provocada por *Fusarium robustum* Gerlach. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 56, n. 1/2, p. 1-3, 1980.

LOMBARD, L.; RODAS, C. A.; CROUS, P. W.; WINGFIELD, B. D.; WINGFIELD, M. J. *Calonectria* (*Cylindrocladium*) species associated with dying *Pinus* cuttings. **Persoonia**, v. 23, p. 41-47, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.3767/003158509X471052>.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1972. 620 p.

OLIVEIRA, O. dos S. Fungos causadores de danos em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Floresta**, v. 12, n. 2, p. 23-27, 1981.

SANTOS, F. **Diversidade morfológica, patogênica e genética de *Phytophthora cinnamomi* e sua associação com espécies arbóreas no Brasil**. 2019. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia -Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTOS, A. F. dos; PARISI, J. J. D.; MENTEN, J.O.M. (org.). **Patologia de sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011a. 236 p.

SANTOS, A. F. dos; TESSMANN, D. J.; ALVES, T. C. A.; VIDA, J. B.; HARAKAVA, R. Root and crown rot of Brazilian Pine (*Araucaria angustifolia*) caused by *Phytophthora cinnamomi*. **Journal of Phytopathology**, v. 159, p. 194-196, 2011b. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01741.x>.



9

**Melhoramento
e conservação
genética de
*Araucaria
angustifolia***

Valderês Aparecida de Sousa
Ananda Virginia de Aguiar
José Elidney Pinto Júnior
Jarbas Yukio Shimizu
Neusa Steiner

Introdução

Devido à exploração indiscriminada para uso comercial, as florestas remanescentes de araucária [*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze] encontram-se extremamente fragmentadas no Brasil. Com isso, uma redução de 97% da sua área original foi apontada por Enright e Hill (1995). Em 2001, estudos realizados pelo Projeto Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio Araucária) (Fupef, 2001) estimaram que apenas 0,80% dos remanescentes primários eram mantidos no estado do Paraná. Como consequência, *A. angustifolia* é considerada espécie criticamente ameaçada de extinção, sob o critério A2 (Farjon, 2006; Thomas, 2013), pelo livro vermelho da International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) e vulnerável na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (CNCFlora, 2013). Em decorrência dessa situação, uma forte restrição legal foi estabelecida desde 24 de maio de 2001, por meio da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 278/2001 (Conama, 2001), proibindo o corte da araucária nativa, com a intenção de assegurar a conservação genética dos remanescentes, dada à ausência de conhecimentos básicos (estrutura genética e dinâmica das populações, dentre outros) que norteassem o seu uso adequado. Essa medida, no entanto, não tem contribuído efetivamente para a conservação da espécie, uma vez que as regenerações naturais têm sido eliminadas e consideradas um empecilho ao uso da terra nas propriedades rurais. A conservação pelo uso tem sido, atualmente, apontada como a forma mais efetiva para viabilizar a preservação da espécie. Assim, tem-se buscado incentivar o plantio para a produção da madeira, pinhão e de coprodutos visando reduzir a pressão sobre os remanescentes nativos. O uso da espécie, de forma sustentável, garante a conservação das populações naturais, além de contribuir efetivamente como fonte de renda às comunidades rurais.

A conservação e o uso sustentável da araucária trarão benefícios às comunidades existentes na sua região de ocorrência natural. Os estabelecimentos de parcerias visam enriquecer o conhecimento tácito do agricultor com os conhecimentos científicos gerados pelas instituições de pesquisas, universidades e empresas privadas, mediante a troca de experiências e conhecimentos práticos e científicos. Como resultado do ganho em conhecimento, poderá haver uma evolução mais rápida nos programas de melhoramento genético participativo, com ganhos em produção de pinhão e madeira, bem como na conservação mais efetiva do material genético remanescente dessa espécie. O conhecimento gerado poderá ser transferido para as comunidades, por meio de agentes multiplicadores da própria comunidade.

Apesar da grande importância que a espécie teve no passado, tanto sob o aspecto econômico quanto sociocultural, e continua até o presente momento, estudos mais expressivos para embasar programas de conservação e melhoramento genético se intensificaram somente no final do século passado.

Os primeiros testes de procedências e progênies de araucária foram estabelecidos nos estados do Paraná e São Paulo, com a participação do Instituto Florestal de São Paulo (IFSP), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal de Lavras (Ufla), empresas florestais privadas, Embrapa Florestas (Figuras 1 e 2), dentre outras.

Resultados de experimentos têm demonstrado a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos expressivos na produção de madeira (Gurgel; Gurgel Filho, 1965; Gurgel, 1980; Kageyama; Jacob, 1980; Shimizu; Higa, 1980; Pires, 1982; Sebbenn et al., 2003a, 2003b, 2003c; 2004; Duarte et al., 2012; Machado, 2018; Silva et al., 2018), comprovando o potencial de seleção das melhores procedências e progênies. Estudos de genética de populações subsequentes, tanto com o emprego de marcadores bioquímicos (Shimizu et al., 2000; Sousa, 2001; Sousa e Hattemer, 2001; Auler et

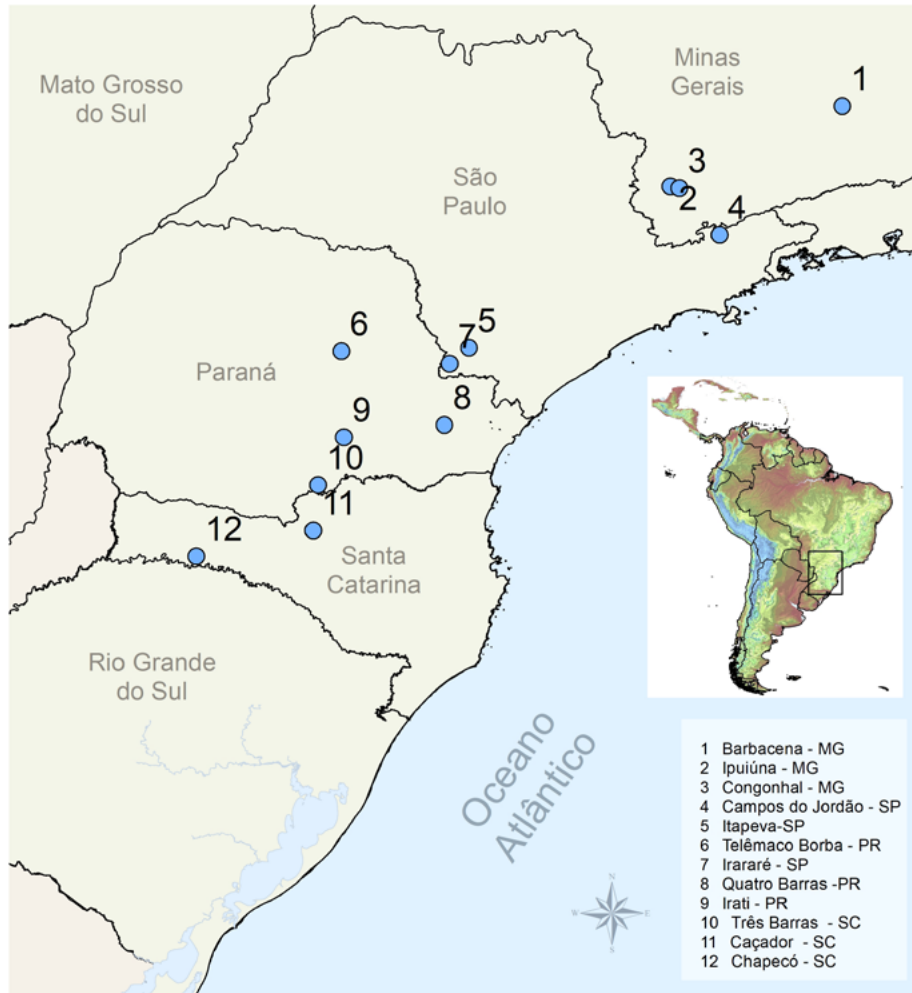


Figura 1. Populações de *Araucaria angustifolia* amostradas em diferentes municípios da região de ocorrência natural no Brasil (1 a 12), para o estabelecimento de teste de procedências e progênes e Banco Ativo de Germoplasma (BAG) no município de Colombo, PR.

Fonte: Wrege (2020).

Foto: Valderês Aparecida de Sousa



Figura 2. Teste de procedências e progênes de *Araucaria angustifolia* de diversas regiões do Brasil, plantado na Embrapa Florestas, no município de Colombo, PR.



al., 2002; Sousa et al., 2004; Mantovani et al., 2006) quanto moleculares (Mazza, 1997; Hampp et al., 2000; Stefenon et al., 2003; Puchalski et al., 2006; Bittencourt; Sebbenn, 2007; Stefenon et al., 2008a, 2008b, 2008c; Souza et al., 2009; Patreze; Tsai, 2010; Duarte, 2011; Sant'Anna et al., 2013; Medina-Macedo et al., 2015, 2016; Roque, 2019; Sousa et al., 2020) contribuíram para o entendimento da distribuição genética da espécie, evidenciando a existência de variações entre populações, especialmente, entre aquelas das regiões Sul e Sudeste. As variações entre populações têm sido atribuídas especialmente às distâncias geográficas e, conseqüentemente, ao isolamento por padrão de distância. A estruturação por padrões biogeográficos foi demonstrada recentemente, com a utilização de microssatélites cloroplastidiais por Stefenon et al. (2019), microssatélite nuclear por Sousa et al. (2020) e marcadores SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) por Silva et al. (2020). Os resultados obtidos por Sousa et al. (2020) mostraram duas grandes regiões ecogeográficas e genéticas, sendo uma na região Sudeste e outra na região Sul do Brasil, representando grandes unidades independentes e de grande importância para ações de conservação e melhoramento genético.

O grupo denominado “Norte” inclui os estados de São Paulo e Minas Gerais (pertencentes à Região Sudeste) e o grupo “Sul” inclui o Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Esses grupos já haviam sido observados em diversos estudos populacionais (Sousa, 2001; Sousa e Hattemer, 2001; Stefenon et al., 2008b; Sousa et al., 2009; Valgas, 2009; Valgas et al., 2010), coincidindo com os obtidos por Sebbenn et al. (2004) em testes de procedências e progênies com material representativo dessas regiões. Adicionalmente, Stefenon et al. (2019), usando microssatélites de DNA cloroplastidial e um número maior de populações na região “Sul”, encontrou ainda diferentes subgrupos dentro da região Sul, onde populações do Paraná divergem daquelas de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. Portanto, é importante que esses grupos e subgrupos sejam considerados como unidades independentes na implementação dos trabalhos de conservação e melhoramento dos recursos genéticos da espécie.

Potencial produtivo da espécie

A araucária é uma das espécies nativas mais plantadas no Brasil. Segundo IBÁ (2014), a área reflorestada com araucária em 2013 foi 11.122 hectares. Dois produtos da espécie têm alto valor econômico, a madeira e o pinhão. Ainda, podem ser explorados também outros produtos não madeiráveis, tais como a resina para a fabricação de breu, a terebintina, o nó de pinho, a grimpã e outros (Reitz; Klein, 1966; Sousa; Aguiar, 2012). O breu, fração da resina, é utilizado na fabricação de vários produtos como adesivos, ceras para depilação, espessantes, tintas, vernizes, produtos farmacêuticos, perfumes e outros. A terebintina, fração volátil da resina, é fundamental na fabricação de medicamentos, e produtos cosméticos e de perfumaria, bem como solventes orgânicos e aromatizantes etc. A espécie é utilizada também em programas de reflorestamentos e paisagismo devido à beleza de sua forma arbórea e à utilidade das sementes comestíveis, contribuindo para a biodiversidade da flora local e à alimentação humana e da fauna associada.

A madeira da araucária é usada na fabricação de móveis, artigos de esportes, compensados, produtos para construções internas (painéis, pisos), dentre outros usos (Sousa; Aguiar, 2012). Apesar da madeira de *A. angustifolia* ser de alta qualidade, com densidade média de 55 g/cm³, atualmente não tem sido muito utilizada visto que sua exploração representa risco de conflitos com a Lei de Crimes Ambientais (Aquino, 2005). Atualmente, a madeira utilizada provém de povoamentos plantados (Figueiredo Filho et al., 2015), os quais apresentam grande variação em



crescimento e rendimento de madeira. Mesmo as áreas plantadas da espécie, se não forem registradas adequadamente antes do plantio, não poderão ser exploradas comercialmente como fonte de madeira no futuro.

As sementes são utilizadas na alimentação humana, além de serem muito apreciadas pela avifauna silvestre (Sousa et al. 2010c). As comunidades e as famílias que colhem e comercializam o pinhão consideram este produto como uma importante fonte de renda familiar complementar (Balbinot et al., 2008). Os produtores/coletores de pinhão devem seguir as normas e as instruções estabelecidas por lei, para a coleta, transporte e comercialização do pinhão, as quais apresentam diferentes períodos de coleta, de acordo com o Estado em questão. A permissão para a comercialização do pinhão é restrita aos meses de máxima produção, que se estende de abril a junho. Essa restrição visa garantir o consumo sustentável e as condições adequadas para a regeneração natural da espécie. No entanto, na prática, a lei tem inibido o seu plantio e uso. Assim, um programa de conservação e melhoramento genético da espécie se justifica em todos os aspectos.

A produção de madeira em tora atingiu 28.614 m³ em 2019 e a de pinhão totalizou 8.889 t no ano de 2013, cerca de 8.777 t em 2014 e 9.342 t em 2019 (IBGE, 2013; 2016, 2019). A produção de nó de pinho foi 8.341 m³ no ano de 2019, de acordo com o IBGE. Esses valores oscilam em função da sazonalidade da safra, das condições climáticas e, principalmente, em função das políticas de proteção da espécie. Acredita-se que, com o melhoramento genético, emprego de técnicas silviculturais apropriadas e a formulação de políticas públicas adequadas, a produção possa atingir níveis quantitativos mais elevados e de melhor qualidade que as atuais.

O potencial produtivo da araucária, estimado por pesquisas realizadas em populações naturais, em testes de procedências e progênies e em povoamentos comerciais, indica que ganhos expressivos de produção poderão ser obtidos se técnicas silviculturais forem aplicadas adequadamente (Sebbenn et al., 2004; Silva, 2016; Moraes, 2017; Machado, 2018; Silva et al., 2018). Nesses estudos, verificou-se maior produtividade das populações estudadas em relação a de outras regiões e os resultados foram diferentes para cada tipo de sítio de plantio. Na região de transição entre as populações do Sul e do Sudeste (Itapeva, SP), o desenvolvimento da espécie foi afetado não somente pelas condições climáticas, mas, principalmente, pelas condições edáficas e pedológicas (pequenos mosaicos de solos de Cerrado e solos menos profundos). Em teste de procedências e progênies estabelecido em Itapeva, SP, Sebbenn et al. (2004) relataram médias de 20,47 cm e 18,12 m para diâmetro à altura do peito e altura total, respectivamente, aos 30 anos de idade. Além da área de estudo ser considerada limítrofe para a ocorrência da espécie, o teste não sofreu desbaste seletivo. Porém, um segundo teste de procedências e progênies envolvendo cinco procedências da região Sul e Sudeste apresentou sobrevivência média de 87% aos 33 anos de idade, na região de Itapeva, SP, apresentando-se bem adaptadas (Machado, 2018). Em Itapeva, as procedências oriundas de menores latitudes apresentaram maior sobrevivência que aquelas de maiores latitudes (Sebbenn et al., 2003c). Em relação ao desempenho de crescimento, as procedências do estado de São Paulo, principalmente as dos municípios de Cunha, Itararé e Campos do Jordão apresentaram maior crescimento que àquelas de Santa Catarina (São Joaquim e Bom Jardim da Serra). Esse padrão pode estar associado à diferença na altitude e, conseqüentemente, às diferenças nas condições edafoclimáticas do local de plantio em relação àquelas da origem (Machado, 2018). Testes de procedências e progênies estabelecidos em Colombo, PR, submetidos a dois desbastes seletivos (50%) (Figura 3), apresentaram maior crescimento que aqueles plantados na região de Itapeva e Itararé, SP e ao teste não desbastado e sem manejo da vegetação em Colombo, PR (20 cm, 13,26 m e 0,26 m³ arv.⁻¹ para DAP, altura e volume de madeira, aos 32 anos de idade) (Silva, 2016). Isso indica que o manejo das florestas plantadas de araucária é imprescindível para se obter maior



Foto: Ananda Virgínia de Aguiar



Figura 3. Teste de procedências e progênes de *Araucaria angustifolia* após desbaste de 50%, no município de Colombo, PR.

produção de madeira que aquela observada em plantações naturais.

Em reflorestamentos estabelecidos em sítios adequados, com mudas seminais, sem qualquer grau de melhoramento, a araucária pode apresentar um incremento médio anual em altura de 1 m até o quarto ano de idade e, a partir do quinto ano, de 1,5 m a 2,0 m e o incremento médio anual em volume de madeira pode atingir 30 m³/ha (Carvalho, 1994). Entretanto, valores dessa ordem estão sendo constatados em testes de progênes de segunda geração, com aplicação de algumas práticas silviculturais como adubação, aumento de espaçamento de plantio e desrama. O plantio mais adensado ou consorciado com outras culturas também pode ser realizado e, inicialmente, viabilizará o uso mais adequado da terra. Porém, nesses sistemas o desbaste seletivo é necessário.

Variáveis associadas à produção de pinhão, mensuradas por Silva (2016), apresentaram valores maiores que aquelas avaliadas por Figueiredo Filho et al. (2011) e Mantovani et al. (2004), na maioria dos caracteres estudados. As árvores avaliadas por Silva (2016) são provenientes de um pomar de sementes por mudas, estabelecido após dois desbastes seletivos, com base em caracteres de crescimento que não apresentam relação fenotípica com a produção de sementes. Figueiredo Filho et al. (2011) observaram os seguintes resultados médios: 1,39 kg para peso da pinha, 0,37 kg para peso de pinhões por pinha, 5,80 g para peso unitário do pinhão e 57,47 números de pinhões por pinha, em área plantada. Mantovani et al. (2004) avaliaram a produção de pinhões em dois anos consecutivos (2001 e 2002) de uma população natural de araucária, revelando, respectivamente, valores de 93,9 g e 80,7 g para número de pinhões por pinha (NPP) e 6,58 g e 7,00 g para peso unitário do pinhão (PP). Segundo os autores, a produção anual de pinhão foi 117 kg ha⁻¹ e 160 kg ha⁻¹ em 2001 e 2002, respectivamente. Essas produções foram menores que aquela estimada por Solórzano (2001) em 1998 (427 kg ha⁻¹), na mesma região. Na avaliação de um grupo de populações de araucária em Santa Catarina, foram registradas médias de 15,5 cm, 15,6 cm, 1,58 kg e 17,4 em diâmetro, altura e massa fresca de pinhas e produção de pinha por ano, respectivamente, (Zechini, 2012). Nos plantios experimentais de Colombo, PR, aproximadamente 44% do peso da pinha referiam-se a pinhões bem formados. Percentuais menores desse componente foram verificados por Mantovani et al. (2004) (22,6%) em povoamentos plantados e por Figueiredo Filho et al. (2011) em áreas naturais (28,8%) e em plantios (22,6%). Silva (2016) registrou pesos de falhas por pinha em duas áreas, da ordem de 872,75 g na área 1 e 721,67 g na área 2, sugerindo que essa diferença pode estar relacionada às condições climáticas desfavoráveis, especialmente nos períodos de polinização, uma vez que as falhas das pinhas (pinhões estéreis) resultam da falha na fecundação ocorrida tanto pela ausência de pólen no período receptivo dos óvulos quanto pelo aborto do óvulo.

Árvores de áreas de produção de sementes têm sido ranqueadas para a produção de pinhão, com base nos caracteres fenotípicos de pinha e pinhão, sendo revelados indivíduos com grandes potenciais genéticos. Para assegurar e validar o potencial produtivo dos indivíduos, recomenda-se o uso de polinização controlada e a validação em testes de progênes (Silva, 2016), bem como a avaliação da produção em, pelo menos, três anos consecutivos. De acordo com Carvalho (2002), a



araucária apresenta ciclos de produção com anos de contra-safra após dois ou três anos consecutivos de alta produção de sementes.

Estudos realizados em Santa Catarina têm demonstrado variações, de moderadas a significativas, na produção de pinhão entre populações naturais, no mesmo ano. Verificou-se, também, que algumas populações alternam alta e baixa produção de um ano para outro, enquanto outras mantêm produção estável ao longo dos anos (Zechini, 2012). Segundo este autor, há uma assincronia em escala regional e diferenças entre locais e anos, porém, não é possível afirmar que a espécie apresente, em níveis regionais, anos de maior ou menor produção. Uma metodologia para avaliar a produção de pinhão, bem como uma estratégia de amostragem representativa para a avaliação da produção, foi proposta por Do Carmo et al. (2015). Neste trabalho, foram avaliadas todas as pinhas e sementes produzidas, considerando as faces norte, sul, leste e oeste no teste de procedências e progênies instalado em Colombo, PR. No total foram consideradas 77 pinhas e 7.912 pinhões. Neste trabalho, o peso dos pinhões foi considerado o principal fator na definição dos critérios de amostragem das sementes. Para se obter um nível de confiança de 95%, determinou-se que há necessidade de amostrar seis pinhões grandes, 28 pinhões médios e 7 pinhões pequenos, por árvore (ou progênie), num total de 41. Com base nos resultados obtidos por Do Carmo et al. (2015) e observações de campo, conclui-se que a avaliação da capacidade de produção de pinhões de uma população requer observações se estendendo por, no mínimo, três anos, para gerar informações sólidas que sirvam como elementos na definição de políticas públicas associadas à coleta do pinhão.

Aspectos intrínsecos da araucária

Sistema sexual

A. angustifolia é uma espécie dioica, com estruturas reprodutivas organizadas em estróbilos masculinos e femininos, em plantas distintas (Figura 4) (Imaguire, 1979). A ocorrência de indivíduos monoicos é rara em populações naturais e tem sido atribuída a traumas e, ou doenças, já que não há evidências da hereditariedade desse caráter (Reitz; Klein, 1966; Bandel; Gurgel, 1967). No entanto, Stefenon e Caprestano (2009) observaram a ausência de injúrias ou infecções em plantas monoicas femininas e masculinas, sugerindo outras razões para esse comportamento. Sinclair et al. (2012) destacaram como causas da mudança de sexo, fatores como: idade, temperatura, disponibilidade de água, ácaros, luz, nitrogênio, potássio, monóxido de carbono, fotoperíodo e trauma. Portanto, este caráter requer mais estudos, especialmente aos aspectos genético, fisiológico e fenológico.

Embora a monoiccia seja o sistema sexual predominante nas Angiospermas, a dioiccia predomina na família Araucariaceae. Dentre os principais fatores que podem ter contribuído para a formação de espécies dioicas e fixação de arranjos sexuais diferenciados, destacam-se a depressão endogâmica, a partir da pressão por seleção, precedida por mutações relacionadas às alterações gênicas (Barrett, 1998; Goodwillie et al., 2005; Diggle et al., 2011).

O conhecimento da proporção sexual é muito importante para se estimar a variabilidade genética de uma população, visto que esta é diretamente relacionada ao tamanho efetivo populacional (Murakami, 2002; Sinclair et al., 2012). Assim, a razão sexual desproporcional contribui para reduzir o tamanho efetivo da população, podendo ocasionar gargalos genéticos (Sinclair et al., 2012), especialmente durante a seleção ou amostragem de uma população, dando origem ao efeito da deriva genética.



Figura 4. Detalhes de estróbilos masculinos de *Araucaria angustifolia*: verde (A), maduro (B), liberando pólen (C), posteriormente à liberação de pólen (D) e femininos, em desenvolvimento (E), logo após a polinização (F), em desenvolvimento verde (G), cone maduro pronto para a liberação de sementes (H).



A participação equitativa dos sexos na formação da geração subsequente é ideal para a sobrevivência de indivíduos de ambos os sexos em espécies dioicas. O desbalanço sexual implica na contribuição desigual do número de gametas, favorecendo o sexo mais abundante (Zanon, 2007). O conhecimento do tamanho efetivo populacional, considerando a proporção sexual (Vencovsky et al., 2012), é de extrema importância para o estabelecimento de pomares de sementes por mudas ou clonal, a partir da seleção de testes de progênies. Portanto, em espécies dioicas como a araucária, a proporção sexual inadequada pode afetar a variabilidade genética nas próximas gerações e a qualidade genética das sementes produzidas. Isso pode frustrar as expectativas nos programas de melhoramento genético visando às gerações avançadas, bem como nos programas de conservação de germoplasma.

A determinação do sexo em idade precoce não tem sido possível para a araucária devido à ausência das estruturas reprodutivas, visto que isso só se verifica em árvores adultas (Sousa et al., 2004; Zanon et al. 2009; Figueiredo Filho et al., 2015). Estudos sobre dimorfismo sexual em araucária, com base em marcadores bioquímicos e moleculares, têm buscado a identificação de genes (marcadores) relacionados ao sexo, mas sem muito sucesso (Murakami, 2002; Sousa et al., 2004; Zanon et al., 2009; Figueiredo Filho et al., 2015). Pressupõe-se que essa característica esteja ligada à expressão gênica. Porém, a expressão tardia desses genes (em torno de 15 a 20 anos) tem dificultado a aplicação de marcadores moleculares e técnicas genômicas para essa finalidade. Portanto, pesquisas baseadas na expressão gênica deveriam ser melhor exploradas para viabilizar a sexagem precoce da araucária.

Estudos sobre a razão sexual em populações adultas de araucária têm mostrado resultados discrepantes. Em populações naturais, tem sido verificado que essa razão não diverge significativamente de um (1:1) (Mattos, 1994; Sólorzano-Filho, 2001; Sousa, 2001; Paludo et al., 2009; Zanon et al., 2009; Adan, 2013). Não obstante, desvios significativos em favor das árvores masculinas têm sido encontrados em populações naturais e fragmentos florestais (Bandel; Gurgel, 1967; Mattos, 1972; Paludo et al., 2009; Zechini et al., 2012; Tagliari, 2013); também relataram uma maior proporção de árvores masculinas (60% contra 40% de femininas). Os desvios observados podem estar relacionados tanto ao histórico das populações quanto à exploração seletiva (Murakami, 2002) de árvores com maior desenvolvimento.

Em florestas plantadas de araucária também têm sido registrados desvios na proporção entre os sexos (Bandel; Gurgel, 1967; Pinto, 1982), com a predominância de indivíduos masculinos. Uma maior abundância de árvores masculinas (0,6 feminina:1 masculina) foi observada também por Tagliari (2013). Infere-se, portanto, que a proporção sexual seja influenciada não apenas pelo componente genético, mas principalmente pelo ambiental.

Sistema reprodutivo e fluxo gênico

Por sua característica dioica, a araucária é uma espécie alógama (de reprodução cruzada) obrigatória. No entanto, um certo grau de endogamia tem sido observado em populações naturais, expresso em diversos parâmetros mediante ferramentas bioquímicas e moleculares como isoenzimas, AFLP, microssatélites e SNP (Shimizu et al., 2000; Sousa, 2001, Auler et al., 2002; Sousa et al., 2005; Bittencourt; Sebbenn, 2008; Sant'Anna et al., 2013; Silva et al., 2020; Sousa et al., 2020) (Tabela 1). Resultados similares de endogamia foram constatados em árvores adultas e em progênies (Sousa et al., 2005; Bittencourt; Sebbenn, 2008; Sant'Anna et al., 2013; Costa et al., 2015; Medina-Macedo et al., 2015).



Tabela 1. Estimativas de parâmetros do sistema de reprodução para populações de *A. angustifolia* avaliadas em diferentes localidades do Brasil.

N_p	t_m	r_p	Q	$N_{e(v)}$	m	Referências
4	0,990	0,230	0,160	3,21	31	Sousa et al. (2005)
1	0,991	0,196	0,174	2,87	46	Bittencourt e Sebbenn (2008)
3	1,00	0,237	0,153	3,20	48	Ferreira (2008)

N_p = número de populações, t_m = taxa populacional de cruzamento multiloco, r_p = correlação multiloco de paternidade, Q = coeficiente de coancestria, m = número de matrizes e $N_{e(v)}$ = tamanho efetivo populacional.

Elevados coeficientes de coancestria da ordem de 0,169 a 0,193 (Ferreira, 2008), de 0,130 a 0,200 (Danner et al., 2013), de 0,128 a 0,129 (Cristofolini, 2013), de 0,021 a 0,197 (Silva, 2014), de 0,138 a 0,200 (Sousa et al., 2005) e número restrito de doadores de pólen foram observados em análises de progênies de araucária (Sousa et al., 2005; Ferreira, 2008; Cristofolini, 2013; Danner et al., 2013; Silva, 2014; Silva et al., 2015). A variação na nuvem efetiva de pólen favorece consideravelmente a diferenciação entre as progênies, o desvio do sistema de cruzamento ao acaso, contribuindo para o surgimento de progênies com endogamia biparental (Sousa, 2001; Sousa et al., 2005).

Cruzamentos entre indivíduos aparentados nessa espécie têm sido atribuídos aos diversos fatores, inclusive ao reduzido potencial de fluxo gênico, tanto no sentido restrito (pólen) quanto amplo ou migração (sementes). O pólen da araucária é disperso pelo vento e, teoricamente, deveria apresentar uma eficiente dispersão. No entanto, as características morfológicas e estruturais do grão de pólen apresentam-se (Caccavari, 2003) como sendo pesadas (em média 61,50 μm) (Figura 5), o que concorre para a baixa taxa de flotação (Sousa; Hattemer, 2003a) e a dispersão somente à curta distância. De acordo com Caccavari (2003), esse potencial de dispersão é menor que aquele ocorrendo em outras Gimnospermas que podem chegar a 600 m ou mais, conforme apontado por Niklas (1985). Além disso, a Floresta com Araucária, geralmente, apresenta uma alta densidade de vegetação que pode criar barreiras à dispersão do pólen, limitando o movimento dentro dessas populações (Sousa; Hattemer, 2003a). Diversos autores demonstram resultados nesse sentido (Bittencourt; Sebbenn, 2008; Sant'Anna, 2012; Medina-Macedo et al., 2015). Na análise de progênies de polinização aberta, tanto dentro de remanescentes florestais fechados quanto em floresta aberta, observou-se que as distâncias de movimento do pólen de araucária foram menores

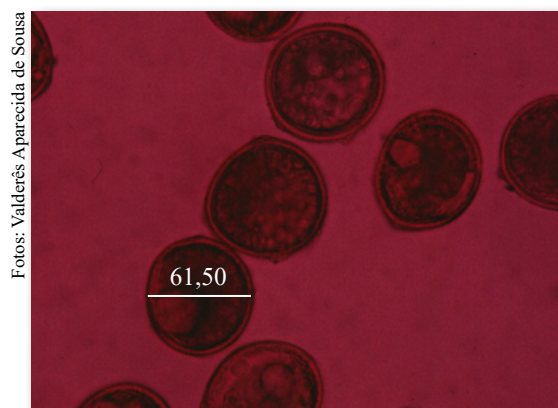


Figura 5. Polens de *Araucaria angustifolia* visualizados em microscópio óptico (aumento de 400 vezes).



que 600 m (Niklas, 1985), variando de 109 m a 600 m (Bittencourt; Sebbenn, 2008; Ferreira, 2008; Cristofolini, 2013; Danner et al., 2013; Silva, 2014; Medina-Macedo et al., 2015). O incremento na densidade populacional da araucária também parece favorecer a ocorrência de cruzamentos biparentais (Sousa; Hattemer, 2003a). Medina-Macedo et al. (2015) notaram que as distâncias de dispersão do pólen variam de 7 m a 263 m dentro de capão e de 178 m a 458 m em floresta aberta.

Medina-Macedo et al. (2015) constataram substancial fluxo de pólen externo em capão (26%) e floresta aberta (20%), favorecendo o aumento da diversidade, apesar do potencial restrito de dispersão do pólen de araucária e do alerta de Caccavari (2003) sobre a real possibilidade de que apenas uma fração do pólen dos estratos superiores da nuvem de pólen (cerca de 30 m de altura) ser transportada à longa distância. Por ser produtora de grande quantidade de pólen e ocupar uma posição dominante no dossel, de alguma forma, a araucária supera o problema do baixo potencial de dispersão de pólen (Tabela 2). Já a semente da araucária, por sua vez, é pesada e autocórica (Carvalho, 2003), com tendência a se dispersar próxima à árvore mãe. Apesar da existência de disseminadores de semente como a gralha-azul, os papagaios, pequenos roedores e cutias (Bordignon; Monteiro-Filho, 2000; Lamberts, 2003, Tella et al., 2019; Vieira; Iob, 2009), a dispersão da sementes é predominante autocórica. Com isso, é comum a ocorrência de endogamia devido à estruturação genética espacial (SGS) em populações de araucária (Mantovani et al., 2006; Bittencourt; Sebbenn, 2008; Sant'Anna, 2012; Medina-Macedo et al., 2015).

Tabela 2. Estimativa da distância de distribuição espacial entre genótipos (fluxo efetivo de sementes) e fluxo de pólen em populações de *Araucaria angustifolia* avaliadas em diferentes localidades do Brasil.

Distância		Referências
Fluxo de pólen (m)	Fluxo de sementes (m)	
83	50	Bittencourt e Sebbenn (2007)
102	75	Bittencourt e Sebbenn (2008)
-	70	Mantovani et al. (2006)
131	20	Sant'Anna et al. (2013)

Estrutura populacional foi observada na primeira classe de distância estudada (70 m), a partir da análise de autocorrelação espacial com dados isoenzimáticos (Mantovani et al., 2006). Em estudos envolvendo microssatélites, foram constatadas, também, estruturas genéticas espaciais significativas, variando de 20 m a 75 m (Bittencourt; Sebbenn, 2008; Patreze; Tsai, 2010; Sant'Anna et al., 2013) Esse tipo de estruturação propicia desvios no padrão dos cruzamentos ao acaso. Portanto, nas coletas de pinhão para fins de plantios comerciais ou para conservação, deve-se estipular uma distância mínima entre as matrizes para evitar a endogamia.

A proporção de indivíduos envolvidos em um evento reprodutivo também pode contribuir para o desvio em relação à reprodução ao acaso. Em população natural de Campos do Jordão, SP, apenas 20% dos machos contribuíram efetivamente com pólen, uma vez que havia uma grande proporção de indivíduos jovens na população (Sousa, 2001). Além disso, a distância física entre os indivíduos e a assincronia do florescimento podem ter concorrido para esse resultado. Em casos dessa natureza, um número maior de árvores deve ser envolvido na coleta de semente para superar esse problema de amostragem. Para compor pomares de semente, também, deve ser considerada a representatividade das árvores fornecedoras de pólen.



O fator antrópico também tem sido enfatizado na dispersão da araucária. Mediante estudos filogeográficos utilizando DNA cloroplastidiano, Lauterjung et al. (2018) argumentaram sobre o impacto humano pré-colombiano na distribuição da araucária, durante o refúgio glacial do Pleistoceno (2.000 anos atrás).

Aspectos sobre a produção de sementes

A literatura registra o início da produção de estróbilos em idades diferenciadas, em função das características das populações, plantios, povoamentos naturais, dentre outros. Em estudos de campo, essa variação tem sido verificada em plantios de 14 a 16 anos (Sousa; Hattemer, 2003b). Em teste de progênies instalado em Ponta Grossa, PR, a partir de sementes coletadas em Barbacena, MG, a produção de estróbilos se iniciou aos nove anos após o plantio (Comunicação pessoal¹). Mattos (2011) verificou que, em plantios e florestas naturais, a produção de estróbilos pode ser observada antes dos 15 anos de idade. Porém, somente após os 20 anos, um número significativo de árvores das populações naturais havia iniciado a produção de estróbilos (Mattos, 2011; Comunicação pessoal¹). Variações significativas na fenologia reprodutiva são reportadas tanto para os estróbilos femininos quanto para os masculinos. Isso se deve à ampla área de ocorrência natural da espécie, com consequentes diferenças ambientais, bem como variações genéticas entre e dentro de populações.

Os estróbilos masculinos e femininos são produzidos anualmente (Solórzano-Filho, 2001), sendo que a emissão dos masculinos ocorre de fevereiro a outubro, e dos femininos ocorre antes desses, apesar de serem mais visíveis a partir dos meses de maio e julho (Solórzano-Filho, 2001; Sousa; Hattemer, 2003b; Mantovani et al., 2004). Portanto, durante alguns meses, as estruturas reprodutivas masculinas estão ausentes (Solórzano-Filho, 2001). Os estróbilos masculinos surgem em ramos jovens, sendo que esses não emitirão novos estróbilos no ano seguinte (Mantovani et al., 2004). Os estróbilos imaturos apresentam eixo longitudinal e reto variando de 10 cm a 15 cm, mudando de cor durante a maturação, de verde para amarelado/acastanhada, e o eixo longitudinal do estróbilo torna-se curvado. A maturação do estróbilo se dá de agosto a outubro com a liberação total do pólen (Solórzano-Filho, 2001; Sousa; Hattemer, 2003b; Mantovani et al., 2004; Mattos, 2011).

Os ginoestróbilos (estruturas reprodutivas femininas) são observados durante todo o ano, em vários estágios de desenvolvimento. Além disso, apresentam coloração verde durante todo o ano, de diferentes tamanhos (Shimoya, 1962). Na mesma árvore, podem ocorrer ginoestróbilos em três estágios: não visível, brácteas abertas e prontos para receber pólen, em período de polinização, e brácteas fechadas em maturação. Em novembro, ocorre a indução de novos ginoestróbilos (estágio não visível). A polinização em Santa Catarina ocorre entre os meses de agosto e setembro, quando as escamas do estróbilo feminino se encontram abertas, propiciando a entrada do pólen (Mantovani et al., 2004). No Paraná, as polinizações ocorrem, geralmente, em outubro, podendo variar entre anos e árvores. Nos anos mais secos o período de polinização é mais curto, enquanto que, nos anos com alta pluviosidade, o período de polinização se estende por até três meses (Sousa; Hattemer, 2003b).

Após a polinização, os estróbilos apresentam lento incremento de diâmetro, durante 10 a 13 meses (Mantovani et al., 2004, Rogge Renner et al., 2017; Goeten et al., 2020). Durante este período

¹ Dados de pesquisa não publicados referentes ao período de 2015 a 2021 da pesquisadora Ananda Virginia de Aguiar da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

ocorre o desenvolvimento das arquegônias que serão fecundadas somente entre 13 a 14 meses após a polinização, sendo que durante este período o pólen permanece dormente na base da micrópila (Goeten et al., 2020). Imediatamente após a fertilização, nos últimos 13 a 15 meses, os estróbilos apresentam um rápido incremento em diâmetro (Shimoya, 1962; Rogge Renner et al., 2017; Goeten et al., 2020). A fertilização de inúmeras arquegônias resulta na formação de poliembriões, mas somente um dos embriões se desenvolve e permanece na semente madura (Rogge Renner et al., 2013; Goeten et al., 2020). Após a polinização ocorrida em agosto e setembro, os pinhões atingem a maturação em 18 a 20 meses, de março a junho do segundo ano, ou até mais tarde, 24 meses, em algumas variedades (Reitz; Klein, 1966; Anselmini et al., 2006; Goeten et al., 2020) (Figura 4). Em estudo realizado em casa de vegetação, em Minas Gerais, observou-se que o ciclo reprodutivo de *A. angustifolia* dura entre 30 a 32 meses a partir da polinização (Shimoya, 1962) e, aproximadamente, 48 meses da diferenciação do botão reprodutivo à liberação de sementes (Figura 6). Em sítios da região Sul, como em Colombo, PR, tem sido observada produção de pinhões iniciando-se em fevereiro e atingindo o pico máximo entre abril e junho. Nas regiões onde ocorre um grande número de variedades da espécie, esse evento pode ser observado de fevereiro a dezembro. Esse assunto é abordado em outro capítulo do presente livro. Além disso, há grande possibilidade de que as variações observadas no ciclo reprodutivo ocorram por influência de fatores ambientais (Mantovani et al., 2004).

Fotos: Amanda Virgínia de Aguiar (A);
Valdêres Aparecida de Sousa (B)



Figura 6. Pinha (A) e pinhões de *Araucaria angustifolia* (B).

As sementes são formadas a partir de óvulos nus, apresentando tegumento duro e o megagametófito (“endosperma”) com alto teor de aminoácidos e cerca de 55% de amido (Carvalho, 2002). Essas são carnosas e apresentam dimensões médias de 3 cm a 8 cm de comprimento, de 1 cm a 3,5 cm de largura e 8,7 g de peso médio (Reitz; Klein, 1966; Carvalho, 2002). Como são recalcitrantes, as sementes perdem a viabilidade sob redução da umidade para 38% (Eira et al., 1994, Farias-Soares et al., 2013). Os cones são produzidos nos ramos primários e secundários ou em ambos, sendo a produção incrementada quando ocorrem em ambos os ramos (Danner et al., 2013). A produção média de pinhas varia de 1,3 a 20 por árvore, em condições de florestas e experimentos (Figura 6) (Mantovani et al., 2004; Silva; Reis, 2009; Figueiredo Filho et al., 2011). Médias de 13 pinhas/árvore a 19,5 pinhas/árvore foram registradas por Mantovani et al. (2004) nos anos de 2001 e 2002, em talhões com 60 anos de idade estabelecidos em Campos do Jordão, SP, 5,6 pinhas/árvore foram relatadas por Vieira-da-Silva e Reis (2009), 20,4 pinhas/árvore por Figueiredo Filho et al. (2011) e 40 pinhas/árvore a 49,5 pinhas/árvore por Mattos (2011). No entanto, é possível encontrar araucária



produzindo até 280 pinhas. Adicionalmente, Zechini et al. (2012) observaram uma variação de 0 pinhas/árvore a 232 pinhas/árvore. Todavia, casos excepcionais são reportados tal como o de Caçador, SC, em que uma única árvore foi observada produzindo aproximadamente 700 pinhas (<https://globoplay.globo.com/v/4186307/>).

Dados observados sobre o comprimento médio das pinhas também é variável. Zechini (2012) registrou média de 15,5 cm no comprimento das pinhas, com massa fresca de 1,584 kg/pinha e 83 pinhões por pinha, variando de 19 a 143 (Zechini, 2012). Já Mattos (2011) observou números médios de 90 a 92 pinhões por pinha, variando de 2 a 198 pinhões. Guerra et al. (2002) relataram produção satisfatória de pinhão como sendo 75 kg/árvore.

A produção de estróbilos e sementes depende de diversos fatores, dentre os quais a idade do povoamento, o ano de produção, condições do povoamento, densidade populacional, número de árvores femininas em reprodução, número de doadores de pólen, condições edafoclimáticas, fatores genéticos, fisiológicos e ambientais, ataque de pragas, dentre outros (Mattos, 2011). Umidade do ar, a direção e a intensidade dos ventos são fatores ambientais que afetam a polinização. Adicionalmente, tratamentos silviculturais podem desempenhar papel primordial na produção de estróbilos e sementes. Os fatores genéticos são evidentes como determinantes na variação da produção de sementes, conforme evidenciado pelas variações entre procedências e, também, entre e dentro de progênies. Maior produção de estróbilos foi observada na réplica de um teste de procedências e progênies em Colombo, PR que aquela ocorrida em Itapeva, SP (Silva, 2016; Machado, 2018). Segundo esses autores, a falta de manejo, incluindo desbaste seletivo e adubação, bem como as condições edafoclimáticas no teste de Itapeva, por ser uma região limítrofe de ocorrência da espécie (Itapeva), são apontados como os principais fatores que podem ter influenciado negativamente na produção de estróbilos, tanto masculinos quanto femininos e, conseqüentemente, afetando também a produção de sementes. Mantovani et al. (2004) observaram variação de 30% na produção de sementes de um ano para o outro, em uma população específica. Segundo Mattos (1994), alta produção de sementes em araucária ocorre por dois ou três anos consecutivos, seguidos de dois a três anos de baixa produção.

A densidade populacional é um dos importantes fatores que afetam a produção de estróbilos e, conseqüentemente, de pinhas (Guerra et al., 2002; Paludo, 2013). Vários autores têm apontado uma maior produção de sementes ocorrendo em campos abertos do que em florestas, especificamente, em áreas de capão, onde se tem uma maior concentração de árvores femininas e menor densidade de árvores (Paludo, 2013). A quantidade de árvores por hectare é muito variável em alguns locais da região Sul, como em Santa Catarina, onde se observou de 1 indivíduo ha⁻¹ a 200 indivíduos ha⁻¹ (Reitz et al., 1978). Zechini (2012) e Figueiredo Filho et al. (2011) registraram médias entre 39,5-42,5 plantas por hectare, nos estados de Santa Catarina e Paraná.

Zechini et al. (2012) sugeriram que a araucária tende a aumentar a produção de pinhas à medida em que aumenta o diâmetro médio à altura do peito (DAP), como reflexo da idade, podendo ser a classe diamétrica um indicativo da produção média anual de uma determinada população. Essa possibilidade foi sugerida com base na correlação positiva e significativa ($r = 0,97$) entre classes de diâmetro e a produção média de pinhas, durante três anos, em quatro populações. A menor e a maior produções anuais foram de 8,5 pinhas árvore⁻¹ e 40,6 pinhas árvore⁻¹ por ano, para as classes de diâmetro variando de 25 cm a mais de um metro de DAP. A expectativa lógica é de que a produção de sementes dessa espécie se eleve com o aumento na classe diamétrica (25 cm a 100 cm), o que ocorre com o aumento da idade (Zechini, 2012).



Os fatores genéticos desempenham um papel primordial na produção de pinhas e sementes. Tem sido observadas variações nesse aspecto entre populações, progênies e indivíduos (Mantovani et al., 2004; Silva; Reis, 2009; Nardin, 2010; Mattos, 2011; Adan, 2013). A ciclicidade na produção de sementes em populações foi reportada por Mantovani et al. (2004) e em floresta contínua de araucárias em Campos do Jordão, SP, por Silva e Reis (2009), Nardin (2010), Figueiredo Filho et al. (2011), Mattos (2011), Adan (2013). No entanto, Zechini et al. (2012) verificaram uma estabilidade na produção ao longo dos anos, quando diversas populações foram consideradas. Isso explica a alternância entre alta e baixa produção de sementes entre árvores, resultando na compensação e estabilidade verificada no povoamento durante o mesmo evento e população. Assim, não se pode confirmar a alternância de anos de alta e baixa produção geral, visto que tais oscilações ocorrem apenas em níveis individuais e populacionais locais.

Em condições naturais, os fatores genéticos que afetam a produção de pinhão são confundidos com os ambientais. Portanto, a seleção de indivíduos mais produtivos nessas condições não é garantia de alta produção nas gerações subsequentes. Para se obter sucesso com a seleção de indivíduos de alta produção, é necessário realizar testes de procedências e, ou progênies para comprovar o valor genético das árvores selecionadas e obter avanço no melhoramento genético das populações.

Apesar da importância socioeconômica da araucária, a maneira extrativista e mal conduzida como esse produto vem sendo explorado pode gerar impactos ambientais negativos, tanto em nível genético quanto em nível da cadeia alimentar. Portanto, programas de melhoramento genético para atender os quesitos básicos da demanda, como produzir pinhões maiores e em maior quantidade ao longo dos anos, podem contribuir para reduzir o efeito negativo da alta demanda e definir um mercado mais estável para esse produto.

Avanços e estratégias de conservação genética

Para a araucária, têm sido adotadas estratégias de conservação genética *in situ* e *ex situ*. A estratégia *in situ* é muito importante para assegurar a evolução natural da espécie. Porém, a sua implementação é a mais conflitante e dispendiosa devido ao fato das Florestas com Araucária ocorrerem em regiões onde o desenvolvimento econômico é mais acelerado. Nesse tipo de conservação para araucária, destacam-se as Unidades de Conservação (UCs) para a conservação *in situ* da araucária (Shimizu, 2007; Danner et al., 2012; Montagna et al., 2012). Todavia, os custos de estabelecimento e de manutenção têm limitado a expansão dessas áreas. De maneira geral, a implementação de um programa de conservação *in situ* requer o estabelecimento de mecanismos de gestão territorial eficientes, sem prejuízo ao crescimento econômico (Pires et al., 2012).

Remanescentes de Florestas com Araucária encontram-se nas UCs e, também, em inúmeros fragmentos florestais naturais, de tamanhos variados, em propriedades rurais privadas e de instituições públicas. Devido à dificuldade no estabelecimento de uma maior quantidade de UCs, tem sido recomendada a consideração dos pequenos fragmentos remanescentes de araucária para o incremento do *pool* gênico. A manutenção de fragmentos menores é importante na conservação *in situ* (Shimizu, 2007; Danner et al., 2012; Lacerda, 2016; Medina-Macedo et al., 2016), sendo fundamental o envolvimento dos produtores rurais, inclusive de pequenos proprietários, para consolidar a formação de corredores da biodiversidade. Reis et al. (2018), estudando populações de araucária em áreas de pequenos agricultores, notaram que a diversidade genética foi alta na maioria das propriedades e o grupo das populações funcionou como uma metapopulação. No entanto, a efetividade dos fragmentos florestais na conservação do *pool* genético da araucária



depende da manutenção do fluxo gênico, para evitar que a fragmentação populacional tenha efeitos negativos na evolução da espécie (Stefenon et al., 2008c). Nesse sentido, a importância dos corredores da biodiversidade é destacada em diversos trabalhos de conservação (Bittencourt, 2007; Shimizu, 2007; Stefenon, 2011; Danner et al., 2012). Vale considerar ainda que os fragmentos de araucária ocorrem, frequentemente, em formações mistas, juntamente com espécies folhosas e densos sub-bosques que dificultam a regeneração natural da espécie (Shimizu et al., 2000) e a sua conservação *in situ*.

Para a conservação efetiva dos remanescentes nativos, é importante o conhecimento de parâmetros tais como: diversidade genética, fluxo gênico, autoecologia, estrutura de populações, sistema reprodutivo, qualidade de sementes, índices de parentesco, características demográficas e geográficas, índices de diversidades (Bittencourt, 2007; Valgas et al., 2009; Stefenon, 2011; Lacerda, 2016; Medina-Macedo et al., 2016; Montagna et al., 2019) (Tabela 3), como subsídios técnicos na tomada de decisões.

Tabela 3. Diversidades genéticas de populações naturais de *Araucaria angustifolia* avaliadas em diferentes localidades brasileiras, obtidas com base em marcadores moleculares e bioquímicos.

Referências	Marc	Pop.	Locos	Ind.	R	A_e (M)	H_t	H_e	H_o	F
Auler et al. (2002)	Iso	9	21					0,08	0,15	
Sousa et al. (2004)	Iso	13	7					0,13	0,13	
Ferreira (2008)	Iso	4	17	50				0,13	0,07	0,440
Ferreira (2008)	Iso	4	17	50				0,13	0,08	0,360
Zechini et al. (2018)	Iso	6	10	325		23-26 (25)		0,74	0,72	0,021
Salgueiro et al. (2005)	SSR	3	8	60	49	3-11 (7,12)		0,34	0,31	0,146
Stefenon et al. (2008b)	SSR	6	5	384	73	7-21 (14,6)		0,71	0,58	0,110
Bittencourt e Sebbenn (2007)	SSR	1	8	617	77	4-16 (9,6)		0,59	0,51	0,158
Bittencourt e Sebbenn (2008)	SSR	1	8	298	62	3-15 (7,75)		0,58	0,55	0,058
Bittencourt e Sebbenn (2009)	SSR	1	8	1179	106	4-20 (13,25)		0,61	0,54	0,119
Patreze e Tsai (2010)	SSR	1	6	105	70	5-18 (11,7)		0,74	0,81	-0,089
Sant'Anna et al. (2013)	SSR	1	9	513	86	3-22 (9,56)		0,63	0,56	0,130
Medina-Macedo et al. (2015)	SSR	2	10	295	81	4-16 (8,1)		0,70	0,91	-0,310
Pádua (2015)	SSR	9	8	450	64	2-15 (8)		0,77	0,82	-0,067
Dal Bem et al. (2015)	SSR	1	8	158	77	-		0,08	0,08	0,030
Roque (2019)	SSR	1	11	48	120	3-22 (10,91)		0,74	0,72	0,021
Sousa et al. (2020)	SSR	12	15	120		4-18 (11,13)	0,68	0,67	0,61	0,070
Silva et al. (2020)	SSR	15	8					0,71	0,64	0,100
Silva et al. (2020)	SNP	15	2022					0,31	0,31	0,00
Medri et al. (2003)	RAPD							0,26		
Stefenon et al. (2008b)	AFLP	6	166				0,30			
Souza et al. (2009)	AFLP							0,27		
Inza et al. (2018)	AFLP	10	706	312			0,15	0,12		

Número de populações estudadas (Pop), Número de locos (Loci), Número de indivíduos (Ind.), Riqueza alélica (R), amplitude de alelo por locos (média de alelos por locos) (A_e (M)), heterozigosidade esperada (H_e), heterozigosidade observada (H_o) e Índice de fixação (F), Iso = Isoenzimas; AFLP = Polimorfismo de comprimento de fragmento amplificado; SSR = Repetições de sequência única; SNP = polimorfismo de nucleotídeo único; RAPD = Polimorfismo de DNA amplificado aleatoriamente.

A conservação *ex situ* empregada como complemento à conservação *in situ* é importante para manter a diversidade genética da espécie no seu habitat natural, em diferentes condições. As vantagens e desvantagens dessas duas estratégias têm sido analisadas em diversos trabalhos e



o principal aspecto é relacionado ao custo. A estratégia de conservação *ex situ* de sementes em laboratório (câmara fria) implica em baixos custos, aproximadamente 1% do custo da conservação *in situ*, principalmente no tocante à coleta, ao beneficiamento e transporte das sementes, dentre outros aspectos (Li; Pritchard, 2009). De acordo com esses autores, isso representa uma excelente relação custo-benefício, como se fosse uma boa apólice de seguro contra a perda irreversível das espécies no ambiente natural. A conservação *ex situ* funciona também como um backup de certas frações da diversidade que poderiam ser perdidas na natureza (Li; Pritchard, 2009). Todavia, as sementes de araucária são recalcitrantes e perdem a viabilidade em menos de um ano, não permitindo a conservação em bancos convencionais de sementes (Farias-Soares et al., 2013; Shibata et al., 2013; Goeten et al., 2020). Portanto, a cultura de tecidos constitui uma ferramenta importante para o melhoramento e conservação desse tipo de espécie (Stefenon et al., 2009, Steiner et al., 2020), bem como a criopreservação de linhagens celulares (Steiner et al., 2008; Demarchi et al., 2014) e de embriões zigóticos (Steiner et al., 2020). A conservação *ex situ* vem sendo realizada basicamente na modalidade de Bancos Ativos de Germoplasma (BAGs) e outros tipos de plantios. Os BAGs são recomendados com os objetivos de incrementar a viabilidade da espécie (Bittencourt, 2007; Stefenon et al., 2008c; Danner et al., 2012; Ferreira et al., 2012), conservar os recursos genéticos mediante uso (Danner et al., 2012) e restaurar o patrimônio genético (Montagna et al., 2019).

O plantio de araucária para exploração econômica de produtos não madeireiros é a maneira recomendada para a conservação (pelo uso) do recurso genético dessa espécie. Esses plantios, em geral, são representativos da variabilidade encontrada em uma população nativa contínua. Sousa (2001) verificou que os índices de diversidade não diferem entre o material coletado na floresta nativa e em plantio aos 37 anos de idade, na Flona de Irati. Stefenon et al. (2008b) não notaram diferenças significativas entre as medidas de diversidade genética com dados de AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) e SSRs (*Single Sequence Repeats* - microssatélites) de populações naturais e plantadas. Vieira (2017) verificaram que tanto as árvores nativas quanto plantadas, indiferentemente, apresentaram características que justificam os esforços para a sua conservação. Portanto, recomenda-se que os plantios sejam estabelecidos com material apresentando ampla variabilidade genética, usando-se sementes devidamente amostradas ao serem indicadas para a conservação pelo uso (Danner et al., 2012). Machado (2018) demonstrou que a conservação pelo uso é uma estratégia viável, tanto tecnicamente quanto economicamente. Além disso, Stefenon (2011) ressalta que os plantios com material genético bem amostrado contribuem para o enriquecimento de populações de áreas degradadas. No entanto, deve-se considerar que os plantios são estratégias complementares de conservação, não garantindo o suprimento das necessidades para futuros programas de conservação, melhoramento e uso (Sousa; Aguiar, 2012).

O enriquecimento de BAGs também se configura como medida estratégica importante para reduzir os riscos de extinção da araucária. Essa medida protege o material genético representativo de suas populações e possibilita que esses sejam usados em programas de melhoramentos no futuro, incluindo genes alelos para adaptação às condições adversas decorrentes de mudanças climáticas e outros desafios que venham a surgir. A manutenção de bancos de pólen é uma opção interessante de conservar os genes alelos das plantas masculinas, que deve ser acompanhada do desenvolvimento de tecnologias de manuseio, armazenamento e testes de viabilidade dos pólenes. A Embrapa Florestas tem trabalhado nessas iniciativas.

As áreas para a coleta de sementes, visando à composição de novas populações, devem ser escolhidas com base em critérios técnicos e científicos. Montagna et al. (2019) consideraram



características genéticas, demográficas e geográficas para identificar áreas destinadas à coleta de sementes de araucária para a restauração.

É importante considerar os resultados de estudos de diversidade genética realizados com base em caracteres quantitativos e marcadores moleculares (Tabela 3), na definição das populações a serem conservadas ou amostradas, para compor bancos de germoplasma. O mesmo se aplica para definir os locais estratégicos para se estabelecer ensaios, identificar áreas de ocorrência natural e nicho ecológico que indique adequabilidade ambiental. Parâmetros genéticos como riqueza de genes alelos de interesse e diversidade genética (Tabela 3) podem ser utilizados como indicadores das populações que devem ser ou não priorizadas para a amostragem, visando à implantação de banco ativo de germoplasma, povoamentos florestais e identificar locais de coleta de propágulos (Tabela 3). Adicionalmente, para a conservação da espécie deve-se considerar o mapa de vulnerabilidade (Wrege et al., 2009, 2017), já que a araucária poderá ser afetada fortemente pelas mudanças climáticas, no futuro (Machado, 2018). Sousa et al. (2020) verificaram que os efeitos ambientais e, provavelmente, as forças evolutivas (fluxo gênico, migração, deriva genética, mutação e seleção) são importantes na modelagem das populações de araucária da região Sul e Sudeste do Brasil, havendo correlação entre os dados genéticos e o modelo de nicho.

Dada a expressiva divergência genética observada entre as populações do Sul e do Sudeste, segundo resultados de pesquisas conduzidas pela Embrapa Florestas e outras instituições públicas e privadas, pode-se inferir que a polinização interpopulacional entre indivíduos desses dois grupos gera riscos para as próximas gerações, devido aos efeitos negativos da depressão por exogamia (Young et al., 1996). Portanto, o manejo e a subsequente conservação desses dois grupos devem ser considerados independentemente. Logo, deve ser estabelecido um plano estratégico de conservação considerando a divergência e a diversidade genética das populações, com base em amostragem de um grande número de populações para preservar a variação genética suficiente à viabilização da adaptação da espécie. Assim, nas estratégias de conservação genética do germoplasma da araucária, propõe-se que dois grandes grupos (“Norte” e “Sul”) e as subdivisões do “Sul” (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) sejam amostradas e conservadas separadamente, para evitar o efeito de exogamia, diluição do efeito dos genes associados à adaptação e, ou rompimento dos complexos gênicos/alelos coadaptados e, ou divergência genética significativa entre genótipos, que contribuiriam para anomalias quando cruzados entre si (Shimizu, 2007).

A estratégia de conservação para a espécie deve considerar também as características climáticas regionais. As populações do Sudeste se encontram em um regime climático diferente das populações do Sul. O clima atual do Sudeste se assemelha aos cenários futuros mais prováveis no Sul, em função das mudanças climáticas (Wrege et al., 2017). Com o grau de divergência genética observado e a identificação de marcadores populacionais específicos nas populações do Sudeste (Silva et al., 2020; Sousa et al., 2020), é imprescindível conservar essas populações para assegurar o futuro da espécie, pois constituem um reservatório genético que já pode estar adaptado ao incremento da temperatura (Pye; Gadek, 2004) e a um período maior de déficit hídrico. Nesse sentido, deve-se também considerar estudos sobre o nicho ecológico e dados genéticos para nortear as coletas de sementes visando compor os bancos de germoplasma e de propágulos (sementes, tecidos vegetativos e polens), para o resgate de populações mais vulneráveis ou localizadas em regiões climáticas extremas. Modelos de nicho tal como o da araucária expressam o limite de ocorrência das espécies em determinado espaço geográfico (Sexton et al., 2009) e têm sido utilizados na coleta de espécies raras e daquelas ameaçadas de extinção (Menon et al., 2010) para orientar os trabalhos de sua conservação e uso. Esse tema é abordado no Capítulo 5 deste livro. Assim, o melhor entendimento sobre o ecossistema da araucária, bem como o acúmulo de mais



conhecimentos, principalmente, quanto à caracterização genética das populações naturais ainda não contempladas, representam uma valiosa base científica para orientar novas coletas e o enriquecimento da base genética para assegurar o avanço do seu melhoramento genético.

Avanços e estratégias de melhoramento genético

Com a crescente demanda por materiais genéticos mais apropriados aos plantios comerciais e projetos ambientais, foi estabelecido um programa de melhoramento genético da araucária pela Embrapa Florestas e parceiros, voltado à qualidade genética para a produção de madeira e pinhão. Este programa visa incentivar o plantio de araucária com material mais produtivo, tanto em ensaios experimentais quanto em povoamentos comerciais e, assim, reduzir a pressão ambiental sobre os remanescentes naturais e, conseqüentemente, contribuir para a conservação da espécie.

O programa tem considerado ampla área de ocorrência natural da espécie e as suas especificidades, como o período diferenciado de produção de sementes (variedades), o lento desenvolvimento das estruturas reprodutivas (ciclo total em torno de quatro anos), a assincronia de produção de estruturas reprodutivas (estróbilos), a expressiva diversidade genética entre e dentro de populações e as duas grandes regiões de ocorrência natural da espécie (Sul e Sudeste) (Gurgel; Gurgel Filho, 1965, 1977; Baldanzi et al., 1973; Kageyama; Jacob, 1980; Monteiro; Speltz, 1980; Shimizu; Higa, 1980; Giannotti et al., 1982; Shimizu, 1999; Sebbenn et al., 2003a, 2003b, 2003c.; Sebbenn et al., 2004; Silva, 2016; Moares, 2017; Machado, 2018; Silva et al., 2018) e a proporção de plantas masculinas e femininas que devem ser mantidas nas áreas de produção de semente e para a conservação da variabilidade genética, dentre outros aspectos.

As ações de melhoramento da araucária na Embrapa Florestas foram iniciadas com a utilização de procedências e progênies estabelecidas na década de 1980, tanto em áreas de sua estrutura física em Colombo, PR, quanto na área de parceiros, tal como o Instituto Florestal de São Paulo (IF), dentre outros (Tabela 4) (Sousa; Aguiar, 2012). Os testes de procedências e de progênies contemplaram amostras de sementes de uma extensa área de ocorrência natural com maior densidade populacional da espécie (Figura 7). Esses testes foram estabelecidos em vários locais com o objetivo de identificar indivíduos superiores, quanto à produção de madeira e de pinhão, bem como promover recombinações entre possíveis raças geográficas e preservar a variabilidade genética (Sousa; Aguiar, 2012). Como as correlações entre os caracteres de crescimento (produção de madeira) e os de produção de pinhão oscilam de baixa a moderada (Zechini, 2012; Silva, 2016;), as duas propostas com diferentes objetivos de melhoramento estão sendo contempladas conjuntamente, somente nas primeiras gerações. Assim, em gerações mais avançadas ou para a formação de pomares de sementes, há a necessidade de se prosseguir com as duas propostas separadamente. Observações sobre a fenologia reprodutiva das árvores de diferentes procedências são imprescindíveis para o estabelecimento de populações base para ambas as finalidades, já que a recombinação entre indivíduos pode ser dificultada, bem como nas avaliações da produção de pinhão entre os indivíduos.

A base genética do programa de melhoramento tem sido incrementada com a introdução de indivíduos de novas populações naturais e selecionados fenotipicamente em ensaios experimentais, florestas naturais (fragmentos) e povoamentos comerciais. A Embrapa Florestas estabeleceu a partir de 2006, nos estados de Santa Catarina e Paraná, duas importantes e representativas populações bases oriundas de populações naturais de Minas Gerais, amostradas em Camanducaia e Barbacena, com cerca de 100 progênies de cada município (Figura 8).



Tabela 4. Materiais genéticos de diferentes procedências de *Araucaria angustifolia* estabelecidos em forma de testes, de procedências e, ou progênes e área de demonstração (Sousa; Aguiar, 2012).

Tipos de povoamento	Município	Data de plantio	Procedências (número de progênes)
APS	Ribeirão Branco, SP	Out-73	Vargem Grande do Sul, RS, Itatiaia, RJ, Campos do Jordão, SP, Bocaina, SP, Telêmaco Borba, PR, Campo Mourão, PR, Itapeva, SP, Cascavel, PR, Irati, PR, Quedas do Iguaçu, PR, Barracão, PR, Caçador, SC, Chapecó, SC, Passo Fundo, RS, São Joaquim, SC, Lauro Müller, SC, São Francisco de Paula, RS, Santa Maria, RS.
APS	Colombo, PR	Abr-80	Irati, PR, Telêmaco Borba, PR, Quatro Barras, PR, Três Barras, SC, Caçador, SC,
APS	Colombo, PR	Abr-80	Chapecó, SC (7 procedências), Quatro Barras, PR (10), Caçador, SC (9), Três Barras, SC (9), Itapeva, SP (10), Irati, PR (10), Campos do Jordão, SP (10), Itararé, SP (10), Congonhal, MG (6), Barbacena, MG (7), Ipiúna de Caldas, MG (14),
APS	Colombo, PR	Set-80	Irati, PR, Quatro Barras, SC, Chapecó, SC, Três Barras, SC, Teixeira Soares, PR, Caçador, SC, Telêmaco Borba, PR.
TPP	Itapetininga, SP	1981	Barracão, SC (9), Curitiba, SC (16), Guarapuava, PR (9), São João do Triunfo, PR (12), Ipiúna de Caldas, MG (10), Campestre, MG (4), Pinhão, PR (10)
TProc	Itararé, SP	Jan-74	Barbacena, MG (9), Ipiúna de Caldas, MG (14), Congonhal, MG (6), Lambari, MG (5), Vargem Grande do Sul, SP (5), Camanducaia, MG (7), Campos do Jordão, MG (9), Itapeva, SP (9), Itararé, SP (10), Irati, PR (7), Irati (Tardio, coleta conduzida ao final da produção de sementes), PR (10), Quatro Barras, PR (9), Caçador, SC (4), Chapecó, SC (9) e Três Barras, SC (10)
TP	Ponta Grossa, PR	Nov-06	Barbacena, MG (102 progênes)
AD	Campo Belo do Sul, SC	Nov-07	Camanducaia, MG (103 progênes)
TP	General Carneiro, PR	Mar-09	General Carneiro, PR (77 progênes)
TP	Ponta Grossa, PR	Mai-11	Teste de progênes de segunda geração (16 progênes das APSs de Colombo)
TP	Curitiba, SC	Abr-11	Teste de progênes de segunda geração (33 progênes das APSs de Colombo)
TP	Macieira, SC	Jul-18	Teste de progênes de segunda geração (16 progênes das APSs de Colombo)
TP	Curitiba, SC	Jul-18	Teste de progênes de segunda geração (30 progênes das APSs de Colombo)
TP	Colombo, PR	Jul-17	Teste de variedades de araucária (12 progênes coletadas pela UTFPR)

APS: Área de produção de sementes; PSM = Pomar de Sementes por Mudanças; TP = Teste de Progênes; TPP: Teste de Procedências e Progênes.



Fotos: Ananda Virginia de Aguiar



Figura 7. Testes de procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* estabelecidos na década de 1980, nos municípios de Colombo, PR (A e B) e Itapeva, SP (C e D).

Fotos: Ivar Wendling (A); Ananda Virginia de Aguiar (B)

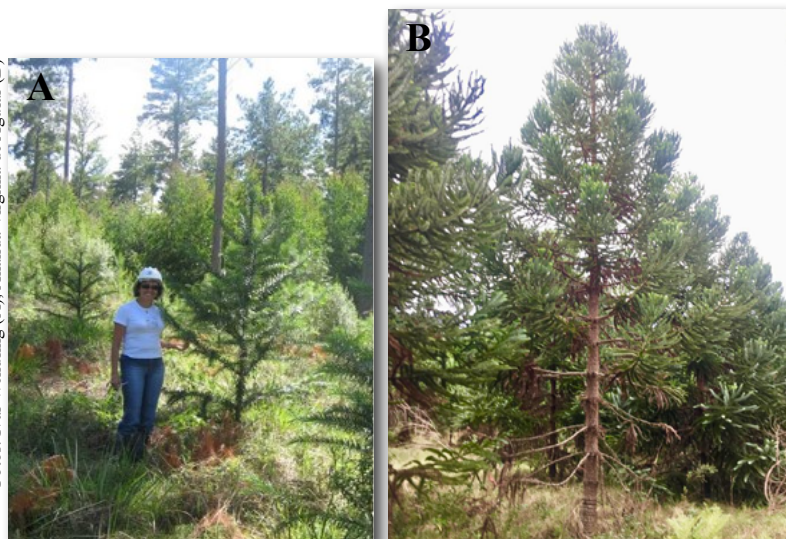


Figura 8. Populações base de *Araucaria angustifolia* procedentes de Camanducaia e Barbacena, MG, estabelecidas nos municípios de Campo Belo do Sul, SC e Ponta Grossa, PR.



As caracterizações de populações naturais nos âmbitos genético, fenotípico e ambiental também têm sido priorizadas, principalmente aquelas do Rio Grande do Sul que não estão contempladas nos BAGs e, portanto, devem ser incluídas no material do programa conduzido pela Embrapa Florestas, bem como materiais genéticos de outros locais envolvendo os materiais de reflorestamentos ou de testes estabelecidos na década de 1970 (Wrege et al., 2017). Adicionalmente, testes com diferentes variedades de araucária vêm sendo estabelecidos na Embrapa Florestas. A composição de uma população de ampla base genética será usada em programas de conservação e melhoramento genético, no curto e longo prazos. Esses materiais também são importantes e estratégicos para a conservação genética da espécie, sendo representados pelos BAGs de conservação *ex situ*.

A estratégia de melhoramento adotada para *A. angustifolia* tem sido a seleção recorrente intrapopulacional, com seleção de matrizes de alto valor genético para a produção de madeira e pinhão, em testes de procedências e progênes, com o propósito de formar pomares de sementes por mudas e pomares clonais (Figura 9). Embora híbridos de araucária já tenham sido produzidos entre *A. araucana* e *A. angustifolia*, visando combinar as características favoráveis de cada espécie para atender a demanda do mercado de madeira e pinhão e suprir as necessidades de médios e pequenos produtores que, normalmente, não têm acesso às sementes de qualidade (Sousa; Aguiar, 2012), no Brasil, ainda não foi adotada a seleção recorrente recíproca, visando à formação de híbridos interespecíficos.

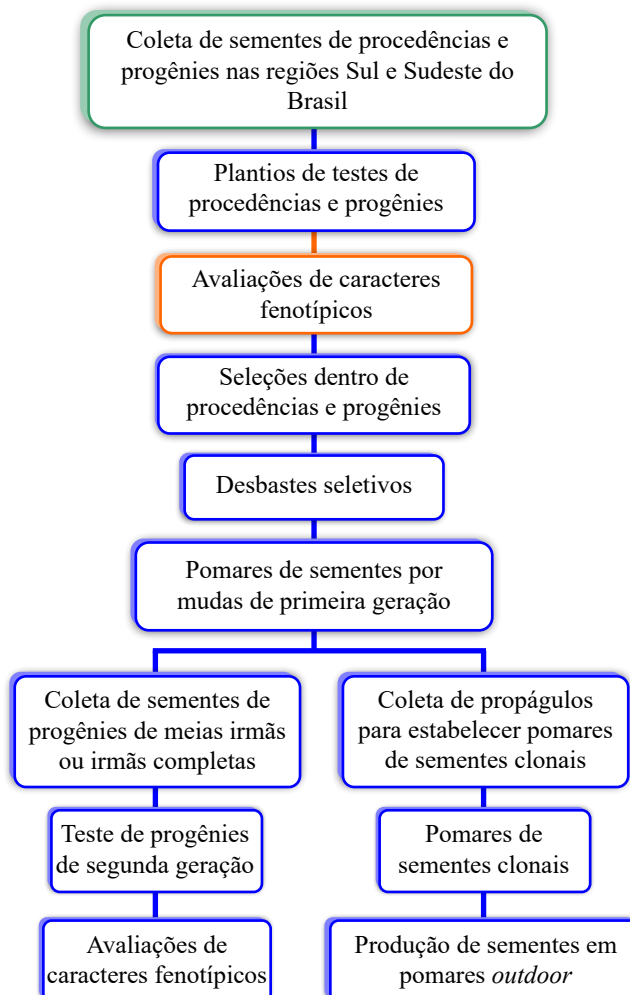


Figura 9. Esquematização do programa de melhoramento genético de *Araucaria angustifolia* conduzido pela Embrapa Florestas e instituições parceiras.



Dois tipos de híbridos interespecíficos de araucária foram obtidos na década de 1952: entre as duas espécies de araucária da América Latina na Argentina (*A. angustifolia* x *A. araucana* e *A. araucana* x *A. angustifolia*) (Tesdorff, 1956). Segundo este autor, com a polinização de 77 estróbilos femininos de *A. araucana* com pólen de *A. angustifolia*, foram obtidas 429 sementes e 68 mudas; do cruzamento recíproco de 143 estróbilos femininos de *A. angustifolia* foram obtidas somente três mudas devido às perdas de ramos pela ocorrência de ventos. Em ambos os tipos de cruzamentos, predominaram as características da espécie da árvore mãe. Isso sugere que o efeito da herança maternal deve ser melhor estudado na família Araucariaceae.

As atividades realizadas nas últimas três décadas ao programa de melhoramento genético implementado pela Embrapa Florestas e seus parceiros encontram-se resumidas na Figura 10. No geral,

- 1972 e 1973 Coleta de sementes de 18 procedências (locais) de araucária em vários Estados de ocorrência natural.
- 1973 e 1974 Implantação de testes de procedências e progênes de araucária em Ribeirão Branco, SP e Itapetininga, SP.
- 1979 Coleta de sementes de 16 procedências e mais de 100 progênes de araucária, em vários Estados de ocorrência natural.
- 1980 e 1981 Implantação de testes de procedências e progênes de araucária em Colombo, PR e Itararé, SP.
- 1975 a 1996 Avaliações fenotípicas nos testes implantados nos estados de São Paulo e Paraná.
- 2000 a 2002 Desbaste seletivo dos testes de procedências e progênes de araucária em Colombo, PR.
- 2005 Coleta de sementes de araucária em Barbacena, MG e Camanducaia, MG.
- 2006 a 2007 Implantação de testes de progênes de araucária em Monte Belo do Sul, SC e Ponta Grossa, PR.
- 2009 e 2010 Coleta de sementes e implantação dos testes de progênes de araucária em General Carneiro, PR.
- 2010 e 2011 Coleta de sementes de araucária nas APS em Colombo, PR.
- 2011 Implantação de testes de progênes de segunda geração de araucária em Ponta Grossa, PR, e Curitiba, SC.
- 2011 Caracterização genética de germoplasma de araucária das APS de Colombo, PR, com base em marcadores genéticos.
- 2012 a 2021 Implantação de novos testes de progênes de segunda geração de araucária em Itapeva, SP, Curitiba, SC e em outros municípios das regiões Sul e Sudeste.
- 2012 a 2023 Desenvolvimento de marcadores SNPs e identificação de genótipos mais produtivos e divergentes, a partir da seleção genômica ampla.
- 2012 a 2023 Desenvolvimento de protocolos para a propagação vegetativa e criopreservação de araucária.
- 2008 em curso Avaliação dos testes de progênes de Monte Belo do Sul, SC, General Carneiro, SC, Ponta Grossa, PR, Curitiba, SC e Colombo, PR.
- 2017 a 2023 Obtenção de genótipos elite (primeira e segunda gerações) das APS de araucária de Colombo, PR e Curitiba, SC.
- 2021 a 2025 Aplicação de ferramentas genômicas para a identificação de marcadores (genes) relacionados ao dimorfismo sexual em plantas jovens.

Figura 10. Linha do tempo dos principais eventos do programa de conservação e melhoramento de *Araucaria angustifolia* realizados e previstos no programa da Embrapa Florestas e parcerias.



foram executados desbastes seletivos, com base no volume de madeira, em parte dos testes de procedências e progênes estabelecidos na década de 1980, para formar áreas de produção de sementes (APS). As sementes produzidas nessas APS estão sendo usadas para estabelecer os testes de segunda geração, em diferentes regiões do Paraná e de Santa Catarina, bem como a concepção de pomares clonais *indoor* e *outdoor*, e para compor sistemas de produção silvipastoril (Figura 11), dentre outros.

Fotos: Amanda Virginia de Aguiar

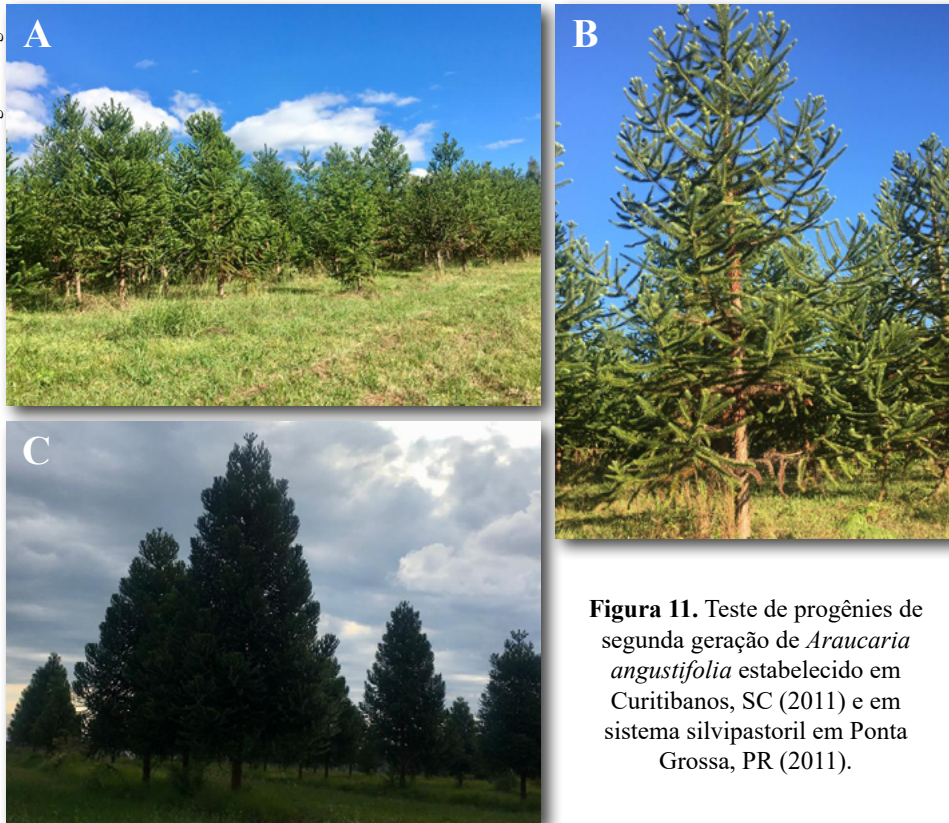


Figura 11. Teste de progênes de segunda geração de *Araucaria angustifolia* estabelecido em Curitiba, SC (2011) e em sistema silvipastoril em Ponta Grossa, PR (2011).

Os testes de progênes de segunda geração, em Curitiba, SC (plântio homogêneo), em Ponta Grossa, PR (sistema silvipastoril) em 2011 e Macieira, SC, estabelecidos com sementes das APS de Colombo, estão apresentando médias produtivas e controle genético significativos em volume de madeira (Figura 11). Novos testes de progênes, com as sementes das APS, serão estabelecidos em diversos locais de ocorrência da espécie, com o apoio de empresas privadas, produtores rurais e instituições de pesquisa.

Os métodos e as intensidades de seleção têm sido definidos com base no potencial produtivo e nos ganhos genéticos mediante seleção, observados nos ensaios experimentais. De maneira geral, o controle genético na araucária é altamente variável, conforme verificado com base nos coeficientes de herdabilidade que têm oscilado entre 0,00 e 0,64 (Sebbenn et al., 2004; Silva, 2016; Moraes, 2017; Machado, 2018; Silva et al., 2018). Kageyama e Jacob (1980) também obtiveram coeficientes de herdabilidades individuais no sentido restrito altamente variáveis para os caracteres de crescimento altura (0,00 a 0,56) e diâmetro à altura do peito (0,03 a 0,64), para três procedências de *A. angustifolia*, aos 3,5 anos de idade, em Campos do Jordão, SP. Sebbenn et al.



(2003b) observaram coeficientes de herdabilidade individual baixos para DAP (0,06), altura (0,05) e volume de madeira (0,05), em um teste de procedências e progênies, aos 21 anos de idade, em Itapeva, SP. Machado (2018) constatou que um maior controle genético para crescimento foram observados nas procedências de Cunha, SP, Bom Jardim, SC e Campos do Jordão, SP do que nas procedências de São Joaquim, SC e Itararé, SP, sendo que aquelas de Cunha e Itararé apresentaram as melhores médias de crescimento. Ganhos genéticos expressivos para caracteres de crescimento também foram confirmados por outros vários autores (Sebbenn et al., 2004; Silva, 2016; Moraes, 2017; Machado, 2018; Silva et al., 2018). Os indivíduos com melhor desempenho em crescimento devem ser priorizados para compor as populações de melhoramento visando aumentar o ganho genético.

O potencial produtivo da araucária para pinhão também vem sendo mensurado, tanto em populações naturais quanto em testes de procedências e progênies (Do Carmo et al., 2015; Silva, 2016; Silva et al., 2018,) e, um aspecto a considerar é que variações entre plantas quanto à massa das sementes se devem, principalmente, ao efeito materno, visto que o megagametófito é de origem materna (Mantovani et al., 2004). Diante dos desafios encontrados para os acompanhamentos e as avaliações desses caracteres, trabalhos para melhorar a produção e a qualidade de pinhões requerem esforços colaborativos envolvendo apoio de produtores rurais e empresas. Portanto, é imprescindível a participação de um grande número de pessoas na identificação de matrizes e acompanhamento dos eventos reprodutivos, o que caracteriza como melhoramento participativo. Ademais, grande parte dos fragmentos florestais com araucárias se encontram em propriedades privadas e, normalmente, os produtores rurais já conhecem os pinheiros mais produtivos em suas áreas. Todavia, até o momento, o envolvimento de comunidades que utilizam os produtos e subprodutos desta espécie como fonte alternativa de renda não tem sido adequadamente explorado no melhoramento genético para produção de pinhão.

Como grande parte da produção de sementes comercializada é proveniente da exploração de florestas naturais ou de pequenos plantios, a incorporação das raças/variedades locais em sistemas produtivos de pequenos produtores poderá contribuir para ampliar o período de coleta de pinhão, atendendo melhor ao mercado consumidor e às demandas de semente para plantio.

O melhoramento genético participativo (MGP) é uma abordagem aplicada, principalmente para espécies de valor social, ambiental e econômico para a comunidade rural, como a araucária. Essa abordagem é pautada também na conservação pelo uso ou conservação *on farm* (conservação sob cultivo na propriedade), que almeja também valorizar e viabilizar a utilização dos produtos não madeiráveis, como o pinhão. Assim, essa abordagem é muito interessante para a araucária, no quesito produção de pinhão.

No programa de melhoramento genético da araucária, vêm sendo consideradas as variedades identificadas para uso em cruzamentos controlados, com vistas à obtenção de genótipos mais produtivos e com períodos mais estendidos de produção de sementes ao longo do ano.

Estudos genéticos realizados com as variedades de araucária: ponta-branca, pinhão macaco e são josé, foram conduzidos pela Embrapa Florestas, em parceria com a empresa Remasa, em Bituruna, PR (Sousa et al. 2010c). Nessas pesquisas, além de envolver a caracterização, foram abordadas também as questões sobre polinizações controladas entre as referidas variedades. Polinizações controladas entre indivíduos de progênies de diferentes procedências de araucária também vêm sendo realizadas nas APS de Colombo, PR. Na próxima etapa do projeto de melhoramento genético, dar-se-á continuidade às polinizações controladas entre variedades e a geração de híbridos com *A. araucana*, visando a adaptação em novos ambientes, frente às mudanças climáticas globais.



Do híbrido *A. angustifolia* x *A. araucana*, poderão surgir combinações de características de tolerância aos solos pobres (oriundas de *A. araucana*) com maior produtividade de madeira (oriunda de *A. angustifolia*). A similaridade cariotípica entre essas espécies foi observada por Bandel (1970) e enfatizada por Setoguchi (1988), Escapa e Catalano (2013) e Hizume e Kan (2015) e a possibilidade da produção de híbridos interespecíficos foi indicada por Vidakovic (1991). Apesar da compatibilidade genética entre essas espécies, a não ocorrência de híbridos naturais é óbvia pela distância geográfica entre os locais de ocorrência delas. *A. araucana* é natural das regiões áridas do Chile e Argentina, enquanto que *A. angustifolia* ocorre na Floresta Ombrofila Mista, em sua maior parte no Planalto Sul do Brasil.

Com base nos resultados de pesquisas conduzidas até então realizadas com *A. angustifolia*, por instituições públicas e privadas, para o melhoramento propõe-se que indivíduos amostrados nos grandes grupos (“Norte” e “Sul”) e subdivisões do Sul do Brasil sejam reproduzidos e mantidos em um mesmo espaço físico, de maneira que cruzamentos, tanto aqueles obtidos por polinizações livres quanto aqueles controlados entre indivíduos mais distantes, possam ocorrer, visando à exploração da heterose e incorporação de genes alelos que promovam melhor adaptação a regiões específicas.

As mais recentes gerações de melhoramento de araucária vêm sendo estabelecidas em vários sítios para que o efeito da interação genótipo x ambiente possa ser estimado, visto que a espécie é muito sensível às condições edafoclimáticas. Este efeito poderá ser estimado para diferentes caracteres relacionados à produção de madeira e pinhão.

Tecnologias aplicadas ao melhoramento genético

Várias tecnologias vêm sendo empregadas no melhoramento e na conservação genética da espécie, tais como: a clonagem via enxertia, a indução de florescimento precoce, o emprego da seleção genômica para reduzir o ciclo de melhoramento genético, o estabelecimento de pomar *indoor* e *outdoor* para a polinização controlada, criopreservação das sementes, dentre outras. Espera-se que essas ferramentas tecnológicas contribuam de maneira eficiente para reduzir o ciclo de melhoramento da espécie, que é aproximadamente 30 anos.

As técnicas genômicas, conforme já mencionado, têm sido aplicadas nos programas de conservação e melhoramento genético da araucária (Resende et al., 2014; Silva et al., 2020), podendo propiciar avanços, especialmente no que diz respeito ao entendimento da variabilidade genética entre e dentro de populações naturais, da diferenciação entre variedades e raças locais, da identificação sexual em idade precoce e da fisiologia do plagiotropismo positivo. No futuro, acredita-se que o uso de tecnologias mais avançadas, como a edição genômica, exemplo a CRISPR/Cas9 que tem sido utilizada em *Pinus radiata* (Poovaiah et al., 2020), poderá ser aplicada para outras espécies de interesse, considerando características de interesse, tais como a indução de florescimento precoce, maior produção de estróbilos femininos, dentre outras.

Encontra-se em curso, em parceria com a Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Embrapa Cenargen) e com o Instituto Florestal de São Paulo (IFSP), a adoção de marcadores moleculares SNPs (*Single Nucleotide Polymorphism*). Um dos objetivos de aplicação desses marcadores é para a seleção de genótipos mais produtivos em madeira e pinhão (Silva et al., 2020), em idade precoce, visando reduzir a duração dos ciclos de melhoramento e acelerar o programa de seleção recorrente. Para isso, dados de caracteres fenotípicos (volume de madeira e forma) e de propriedades físicas e químicas da madeira estão sendo utilizados para o desenvolvimento de modelos preditivos de



seleção genômica ampla (SGA), conforme sugerido por Resende et al. (2008). O teste de procedências e progênies de Itapeva, SP, estabelecido em 1980, vem sendo usado como população piloto. Os modelos desenvolvidos contribuirão para acelerar o programa de seleção recorrente da espécie.

As estimativas de correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres de crescimento, mensurados em idades juvenis e adultas, poderão ainda contribuir para acelerar o programa de melhoramento genético. Se as correlações entre os caracteres avaliados em diferentes idades forem altas e significativas, a seleção precoce poderá ser aplicada para a araucária, gerando ganhos expressivos de produtividade.

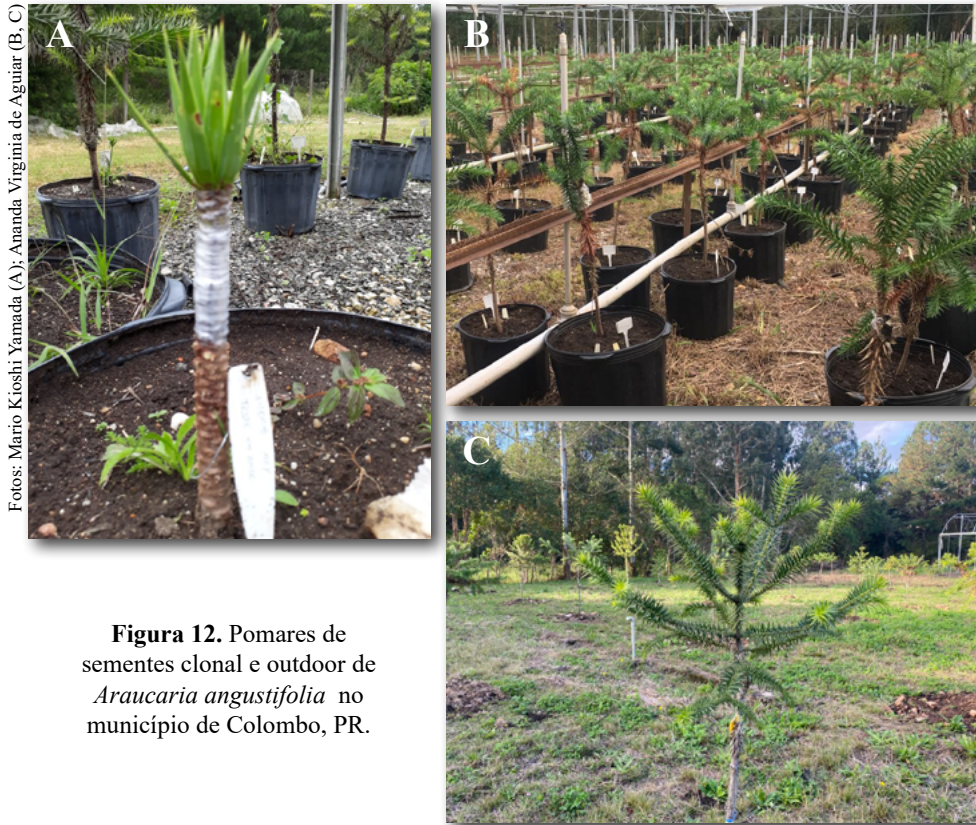
Pesquisas relativas ao desenvolvimento de protocolos de armazenamento e criopreservação de sementes têm sido conduzidas (Medeiros et al., 2004; Saloio et al., 2013; Voig et al., 2017) objetivando, especialmente, o resgate e a clonagem *ex vitro* de indivíduos mais produtivos em madeira e pinhão. Além disso, será dado prosseguimento ao monitoramento da fenologia reprodutiva conduzido para inferências sobre a qualidade de produção das sementes.

Estudos para a identificação sexual em idade precoce e cultura de embriões também terão continuidade, visando encurtar o longo ciclo reprodutivo e dar suporte aos programas de conservação e melhoramento genético.

Propagação vegetativa

No melhoramento genético, a propagação vegetativa convencional e a micropropagação são importantes ferramentas não só para reduzir o ciclo de melhoramento, mas também para multiplicar os genótipos com características desejadas em termos de produtividades, resistência a pragas/doenças e às condições ambientais adversas, dentre outras. Técnicas de propagação vegetativa de *A. angustifolia* têm sido promissoras (Kageyama; Ferreira, 1975) e vêm sendo utilizadas no melhoramento genético da araucária, com avanço especial na última década (Pires et al., 2010; Wendling, 2011, 2015; Gaspar et al., 2017), principalmente para estabelecer pomares de sementes clonais, indoors e outdoors e indução de florescimento precoce (Figura 12).

As espécies da família Araucariaceae apresentam algumas peculiaridades em relação à propagação vegetativa. Como exemplo ocorrendo para a maioria das espécies de coníferas, o envelhecimento fisiológico dificulta a multiplicação, por estaquia, de indivíduos adultos, devido à dificuldade de enraizamento das plantas. Além disso, com exceção dos propágulos dos brotos apicais das copas das árvores, os meristemas produzem plantas em estado plagiotrópico (Sehgal et al., 1989). Pesquisas têm sido realizadas tanto para induzir a juvenilidade em *Araucaria* spp. quanto para reverter o estado do crescimento plagiotrópico para ortotrópico (Maene; Debergh, 1981; 1987), com pouco sucesso. Estudos envolvendo a propagação de diferentes espécies de araucária como *A. excelsa*, *A. heterophylla* (Salisb.) e *A. cunninghamii* (D. Don) Aiton têm mostrado diferentes respostas aos tratamentos utilizados, sendo que a reversão do plagiotropismo não tem sido bem sucedida. Para *A. excelsa*, tanto as podas sucessivas dos ramos quanto os tratamentos destes com solução de diferentes compostos hormonais, além das enxertias seriadas de propágulos, não foram eficientes para a indução de brotações juvenis e reversão do crescimento de ramos plagiotrópico para ortotrópico (Maene; Debergh, 1987). Já Maene e Debergh (1987) apresentaram bons resultados para *A. cunninghamii*, utilizando compostos hormonais. Os autores afirmam que a enxertia de pequenos ramos epicórmicos ortotrópicos de *A. excelsa*, encontrados no caule nu de plantas-mãe velhas sobre mudas de um ano de idade, produziram uma taxa de pegamento de 50%, sendo que os brotos enxertados tornaram-se mais juvenis. A indução de brotações epicórmicas ortotrópicas



Fotos: Mario Kioshi Yamada (A); Ananda Virginia de Aguiar (B, C)

Figura 12. Pomares de sementes clonal e outdoor de *Araucaria angustifolia* no município de Colombo, PR.

na propagação vegetativa foi estudada por Wendling et al. (2009). Os autores notaram que, apesar de uma maior eficiência utilizando a decepta e poda de ramos, a emissão de ramos em galhos removidos não foi bem sucedida, em decorrência da alta mortalidade e baixa emissão de brotação.

A estaquia é outra técnica investigada para espécies da família Araucariaceae. Francis (1987) reportou sucesso para a clonagem, via estaquia, de plantas jovens (15 cm) de *Araucaria heterophylla* (Salisb.). Para *A. angustifolia* destacam-se os trabalhos de Bettio et al. (2008) e Delgado et al. (2007). Em brotações de cepas submetidas ao corte raso, Delgado et al. (2007) evidenciaram que árvores masculinas apresentaram uma maior capacidade de enraizamento, comparativamente às femininas, sendo a vermiculita o melhor substrato. Burrows et al. (1988) demonstraram a possibilidade de se micropropagar plantas tanto jovens quanto adultas de *A. cunninghamii*, mediante a indução de botões ortotrópicos de meristemas axilares ocultos da porção superior do tronco principal. Nesse caso, os botões dormentes dentro da casca desenvolveram ramos ortotrópicos. Segundo os autores, esse procedimento também foi bem sucedido para outras espécies de coníferas adultas (20 anos), *A. balansae*, *A. bidwillii*, *A. columnaris*, *A. hunsteinii*, *A. luxurians*, *A. montana*, *A. rulei*, *A. scopulorum* e *Agathis robusta*. Para essas espécies, os brotos ortotrópicos foram obtidos da parte baixa do tronco após corte raso da árvore. Técnicas de propagação vegetativa também mostraram resultados positivos com *A. angustifolia*, à partir de 1975 (Kageyama; Ferreira, 1975).

A miniestaquia, por sua vez, também tem sido objeto de pesquisas na propagação da espécie. Pires et al. (2013) notaram que as mudas obtidas por miniestaquia apresentaram crescimento ortotrópico, demonstrando o potencial da tecnologia para a clonagem de famílias selecionadas da espécie. A aplicação de ácido indolbutírico (AIB) na miniestaquia de *A. angustifolia* foi conduzida



por Pires et al. (2013), para avaliar a influência de diferentes concentrações desse produto. Os autores evidenciaram que o aumento das concentrações de AIB promoveu um pequeno incremento na sobrevivência (até $3,0 \text{ g L}^{-1}$), número de raízes das miniestacas (até estimativa de $2,3 \text{ g L}^{-1}$) e enraizamento (até $1,5 \text{ g L}^{-1}$), embora a melhor taxa de enraizamento obtida, de apenas 32%, seja considerada baixa. Portanto, a continuidade de estudos utilizando esse produto se faz necessária para elucidar as concentrações adequadas desse hormônio. Assim, para *A. angustifolia* ainda são necessárias pesquisas na área de micropropagação.

A enxertia tem sido a técnica mais promissora para propagação vegetativa da araucária. Nas últimas décadas, avanços importantes foram conseguidos também com enxertia de *A. angustifolia*. Wendling (2011) obteve produção precoce de estróbilos masculinos quatro anos após o procedimento. O autor verificou que técnicas como a garfagem em fenda cheia, no topo do cavalo, e a borbulhia de placa mostraram resultados promissores, com relação à taxa de pegamento. Ficou evidente, ainda, que os propágulos originários de brotações ortotrópicas da cepa e de brotações com “tendência de crescimento ortotrópico” emergentes dos ramos primários foram os melhores. Zanette et al. (2011), conduzindo estudos de enxertia de placagem lenhosa, observaram que o início do outono é o período mais adequado, com obtenção de 50% de sobrevivência dos enxertos. Por outro lado, Wendling (2015) evidenciou que, para o método borbulhia em janela aberta, placa ou escudo, a primavera ou verão mostrou-se o período mais adequado, exibindo sobrevivência entre 80% e 90%, utilizando as brotações da copa de plantas adultas. Gaspar et al. (2017) estudaram a influência dos porta-enxertos na produção de mudas de araucária. Os autores obtiveram maior sucesso na enxertia de copa utilizando porta-enxertos mais jovens (oito anos), especialmente com propágulos plagiotrópicos, quando a enxertia é praticada no outono (71,9%). Os enxertos exibiram hábito de crescimento equivalentes ao do enxerto original. Para agilizar os programas de melhoramento genético, a clonagem de propágulos de galhos dos indivíduos adultos selecionados poderiam ser utilizados para a produção de indivíduos baixos e estudos de florescimento precoce, o que facilitaria a realização de polinizações controladas.

Além da propagação vegetativa convencional, inúmeros protocolos de cultura de tecidos foram testados utilizando explantes de diversas espécies de araucária: *A. angustifolia* (plantas de 30 dias), *A. araucana* (tecido embrionário e tecido adulto de 25 anos), *A. cunninghamii* (plantas de dois, sete e 20 anos), *A. excelsa* (explantes de árvores com 70 a 100 anos), *A. balansae* (plantas de dois anos), *A. bidwili* (plantas de dois anos), *A. columnaris* (dois anos), *A. hunsteinii* (dois anos), *A. luxurians* (dois anos), *A. rulei* (dois anos), *A. scopulorum* (dois anos). Os resultados obtidos foram os mais variados, desde tecido caulinar, brotos adventícios a axilares e raízes (Beniest; Debergh, 1976; Haines; Fossard, 1977; Handro; Ferreira, 1980; Burrows, 1981, 1983; Cardemil; Jordan, 1982; Boulay, 1987; Maene; Debergh, 1987; Sarmast et al., 2012). Iritani et al. (1992, 1993) também desenvolveram protocolos iniciais via organogênese para *A. angustifolia*, no entanto, com baixos índices de regeneração dos brotos, indicando que estes estudos ainda são incipientes e merecem ser aprimorados. Apesar das várias tentativas, ainda não se têm protocolos de micropropagação recomendável para as espécies de araucária, exceto *A. cunninghamii*. Para esta espécie obteve-se enraizamento de tecido de brotos cultivados, sendo demonstrada a possibilidade de se micropropagar plantas jovens e adultas para o estabelecimento bem-sucedido dos seus clones no campo (Maene; Debergh, 1987; Burrows et al., 1988).

A embriogênese somática para esta espécie vem sendo estudada há mais de 25 anos e diversos estudos descrevem os avanços obtidos incluindo um vasto conhecimento morfológico, fisiológico, genético e bioquímico do desenvolvimento embrionário (Guerra; Kemper, 1992; Astarita; Guerra 1998; Silveira et al., 1999, 2002, 2006; Guerra et al., 2000; Santos et al., 2002; Steiner, 2005;

Steiner et al., 2005, 2007, 2008, 2012, 2015; Farias-Soraes et al., 2014; Pereira-Dias et al., 2020; Stefenon et al., 2020). Todas as etapas iniciais da embriogênese somática em *A. angustifolia* foram estabelecidas com sucesso, no entanto a obtenção de um reduzido número de embriões somáticos maduros restringe o estabelecimento de um protocolo comercial (Steiner et al., 2008, 2015; Farias-Soraes et al., 2014). De acordo com estes autores, anormalidades do desenvolvimento embrionário inicial restringem a regulação da etapa de maturação dos embriões somáticos da espécie (Steiner et al., 2015). A criopreservação de culturas embriogênicas obtidas a partir de embriões zigóticos permite o estabelecimento de uma coleção genética de germoplasma, o qual pode ser empregado em futuros programas de conservação e melhoramento genético (Stefenon et al., 2009, Demarchi et al., 2014). De maneira geral, a propagação clonal da araucária em massa, para fins comerciais ou para melhoramento genético, ainda não é uma realidade, principalmente devido às limitações relacionadas à coleta de embriões zigóticos (dezembro a fevereiro) e aos métodos para promover a maturação e a produção de embriões somáticos.

Para a indução de florescimento precoce, a enxertia de topo em fenda cheia (*top grafting*) tem sido empregada em coníferas. Essa técnica consiste em enxertar propágulos de plantas jovens em árvores adultas na idade reprodutiva (*top grafting*). Essa técnica tem sido testada em árvores adultas de araucária, com resultados preliminares promissores (Comunicação pessoal²) (Figura 13). O princípio do *top grafting* é que a aptidão, a estabilidade fisiológica e a competência reprodutiva do interenxerto são transferidas para o enxerto que carrega o atributo genético almejado para reprodução (Hartmann; Kester, 1983; Almqvist; Ekberg, 2001). Essa técnica tem sido utilizada para espécies perenes, principalmente frutíferas, para incrementar a produção inicial de frutos e superar os problemas específicos relacionados a pragas e ao déficit hídrico, dentre outros. Na silvicultura, o *topgrafting* tem sido utilizado como uma ferramenta para incrementar a produção de sementes e assegurar a conservação de material genético. Nos programas de melhoramento genético de coníferas, a produção precoce de estróbilos femininos e masculinos viabiliza a redução



Figura 13. Enxertia de topo em fenda cheia (*top grafting*) de mudas de *Araucaria angustifolia* com dois a cinco anos de idade sobre árvores adultas em produção .

² Dados de pesquisa não publicados referentes ao período de 2015 a 2021 da pesquisadora Ananda Virginia de Aguiar da Embrapa Florestas, Colombo, PR.



no ciclo de melhoramento genético. Essa técnica tem sido aplicada em espécies de coníferas, especialmente do gênero *Pinus* (Schmidtling, 1983; Bramlett et al., 1995; Bramlett; Burris, 1995; Bramlett, 1997; Gooding et al., 1999; McKeand; Raley, 2000; Almqvist; Ekberg, 2001). Segundo McKeand e Raley (2000), esse método, juntamente com aplicação de técnicas genômicas, pode auxiliar na redução do ciclo de melhoramento em pínus.

A aplicação de fitormônios exógenos (reguladores de crescimento) como as giberilinas GA4 e GA7 (GA4/7) e, ou BA (6-benzilaminopurina), bem como alguns dos seus metabólicos, é uma ferramenta que vem sendo utilizada também em coníferas, principalmente *Pinus* spp. (Wheeler et al., 1980; Pharis et al., 1987; Ross, 1989; Pijut, 2002; Zhao et al., 2011; Niu et al., 2014), para a indução precoce ou incremento do número de estróbilos, especialmente os femininos. Resultados significativos têm sido obtidos para alguns genótipos de *Pinus contorta* (Kong et al., 2018). A aplicação dessas substâncias em *A. angustifolia* poderá gerar resultados promissores. Pretende-se testar diferentes concentrações desses fitormônios em plantas de diferentes idades, provenientes de matrizes selecionadas para madeira e pinhão, em materiais clonados por via da enxertia.

O aprimoramento da técnica de clonagem poderá viabilizar a implantação de pomares de sementes clonais, bancos clonais e testes clonais com materiais resgatados de povoamentos comerciais, testes de procedências e progênes de segunda geração e populações naturais, dentre outros.

A clonagem da araucária via enxertia pode ser uma forma eficaz para o estabelecimento de áreas de produção de sementes com propágulos de indivíduos adultos, em idade reprodutiva. Neste caso, existem opções de compor povoamentos contendo proporções desejadas de árvores masculinas e femininas, bem como a espacialização (modelos de plantio) adequada entre árvores. Apesar de ser preferível uma maior quantidade de árvores femininas por área, para a produção de sementes (pinhões) como produto final, deve-se atentar para a sincronia de produção e maturação de estróbilos entre as árvores clonadas. Para que a polinização entre as árvores seja viabilizada, é necessária a sincronia entre a abertura do ginostrobilo e dos estróbilos masculinos (Anselmini et al., 2006). É essencial, também, que haja uma efetiva dispersão do pólen nesses povoamentos e reduzida chance de autoincompatibilidade entre alguns pares de árvores. Para uma polinização eficiente, a proximidade entre indivíduos femininos e masculinos e a velocidade dos ventos são fatores determinantes, devido ao maior fluxo de pólen entre as árvores e, conseqüentemente, maiores chances de produção de sementes (pinhões) (Mattos, 1994).

Genômica

As Gimnospermas possuem grandes genomas quando comparados aos das Angiospermas. As espécies do gênero *Araucaria* apresentam um tamanho de genoma médio 20 vezes superior ao das espécies de Angiospermas (20,15 bilhões de pares de base) (Bowe et al., 2000; Peterson et al., 2002; Ahuja; Neale, 2005; Morse et al., 2009; Zonneveld, 2012a; Zimin et al., 2014). Apesar do grande avanço no sequenciamento dos genomas, não houve progresso significativo para as Gimnospermas, devido ao seu tamanho e complexidades, como sequências repetitivas, elementos transponíveis e duplicação gênica (Ahuja; Neale, 2005; Morse et al., 2009; Kovach et al., 2010; Mackay et al., 2012; Zimin et al., 2014).

As 17 espécies de araucária apresentam o mesmo número de cromossomos, diferenciando-se entre si quanto ao conteúdo de DNA nuclear, que varia de 31,3 pg a 45,4 pg (valor 2C) (Murray et al., 2010; Zonneveld, 2012b). As diferenças no DNA nuclear, bem como as inserções e, principalmente, o aumento do número de elementos transponíveis, ocorridos ao longo dos anos, são os



fatores que contribuíram para a especiação na família *Araucariaceae* (Zonneveld, 2012b). Há uma relação entre o tamanho do genoma, a divisão seccional e a distribuição geográfica das espécies. As espécies que apresentam genomas de tamanhos similares são, também, geograficamente, mais próximas. Por exemplo, as araucárias da América do Sul apresentam conteúdos de DNA muito semelhantes: 45,4 pg e 44,7 pg em *A. araucana* e *A. angustifolia*, respectivamente (Zonneveld, 2012b). A dimensão do genoma pode fornecer contribuições mais conclusivas sobre o gênero/espécie do que determinado caráter morfológico. Segundo Zonneveld (2012b), o tamanho do genoma de algumas espécies é 50 vezes superior ao das demais, sendo um indicativo da capacidade das espécies desta família de evoluir, sobreviver e manter um crescimento lento ao longo dos anos, tornando-se árvores dominantes nos biomas de ocorrência natural e sobrevivendo à seca e à competição com as inúmeras espécies de Angiospermas.

O sequenciamento do genoma de *A. angustifolia* ainda não foi realizado em razão do seu tamanho e complexidade. Porém, ferramentas desenvolvidas mais recentemente na área da genômica facilitarão o avanço no sequenciamento da espécie. Por exemplo, nos últimos anos, foi lançada a terceira geração de sequenciamento de alto rendimento que é utilizada juntamente com o NGS (Illumina). Os dois sistemas mais utilizados ao sequenciamento no *Pacific Biosciences* (PacBio) são o RSII e o Sequel (I, II e IIe). Essas ferramentas oferecem uma alternativa viável para o sequenciamento de organismos que têm grandes genomas, como é caso da araucária. O Sequel I e II são os sequenciadores PacBio de segunda e terceira gerações, respectivamente, que geram mais dados de sequenciamento por célula SMRT (*single-molecule, real-time*) em comparação com o sequenciador PacBio RSII de primeira geração, possibilitando leitura longa de alta fidelidade (HIFI). O PacBio RS II constitui-se em um método para o sequenciamento em tempo real e não requer pausa entre as etapas de leitura (Schadt, 2010). Esta ferramenta, usando a sexta geração de polimerase e a quarta geração de química (química P6-C4), oferece comprimento médio de leitura maior que as plataformas SGS, mas apresenta maior taxa de erro e menor rendimento (Rhoads; Au, 2015). Este sistema apresenta comprimentos médios de leitura superiores a 10 kb e comprimentos máximos de 60 kb (Pacific Biosciences, 2018). Em contraste, o comprimento máximo de leitura pelo Illumina HiSeq 2500 é de apenas 250 pb (Illumina, 2018). Como as vantagens do sequenciamento usando PacBio e SGS são complementares, as estratégias de sequenciamento híbrido, fazendo uso de ambas as tecnologias, para superar as desvantagens das técnicas individualmente, vêm sendo muito aplicadas em trabalhos genômicos. Mesmo com essas tecnologias, apenas um pequeno progresso tem sido observado no sequenciamento de genomas complexos, como o da araucária.

Com a introdução do Sequenciamento de Próxima Geração (*Next Generation Sequencing* - NGS), mesmo sem genoma de referência, vem sendo possível a descoberta de vários marcadores SNP (Polimorfismos de Nucleotídeo Único) com o uso de métodos como o sequenciamento de RNA (RNA-seq) que permitem a redução da complexidade genômica, métodos baseados que adotam diferentes abordagens de digestão de enzimas de restrição e sequenciamento de alto rendimento, como o RAD-seq (Baird et al., 2008), bem como os métodos de genotipagem por sequenciamento (GbS) e enriquecimento para captura de sequência (Silva et al., 2020). Assim, a genotipagem com alta densidade de marcadores é acessível para inúmeros organismos, como a araucária, por um custo muito acessível. Para a araucária, foram aplicados os métodos de sequenciamento de RNA-seq e RAD-seq. Esses métodos geraram uma plataforma de marcadores SNPs. Em relação à eficiência dos métodos, verificou-se que o RNA-seq é 1,6 vezes mais eficiente que o RAD-seq, para identificar polimorfismos em termos de SNPs analisáveis por leitura de sequência bruta e três vezes mais eficiente para fornecer variantes de sequência bruta (Silva et al., 2020). Por outro lado, um grande número de SNPs raros foi observado, com $MAF \leq 0,005$, provenientes de dados



RAD-seq. Segundo os autores, a captura de RNA-seq ou exoma tem apresentado uma melhor eficiência na redução da complexidade de genomas e identificação de polimorfismos, pelo menos, em espécies que têm genomas complexos e grandes, como a araucária (Silva et al., 2020). Essas ferramentas possibilitaram o desenvolvimento e a validação de um conjunto de SNPs Axiom® com ~ 3.400 SNPs (2.565 do RNA-seq e 835 do RAD-seq), a partir de múltiplos dados de tecidos de RNA-seq e dados genômicos de RAD-seq. Matrizes de plataforma fixas de SNPs, como Axiom® com ~ 3.000 SNPs, desenvolvido para araucária, têm sido modelos adotados para a genotipagem de várias espécies, com um custo muito mais acessível que aquele de métodos Gbs (Silva et al., 2020). Além disso, os autores também desenvolveram novos marcadores SSRs (137 locos), que vêm sendo aplicados juntamente com os SNPs em estudos de diversidade genética da espécie.

Os SNPs (polimorfismos de nucleotídeo único) obtidos com os dois métodos citados serão adotados em diferentes estudos genéticos para a predição, com alta precisão, da variabilidade genética das populações para conservação e melhoramento genético, bem como para elucidar questões de história evolutiva. Recentemente, o catálogo de SNPs foi utilizado em estudos de diversidade genética e estrutura de 15 populações procedentes da faixa natural da espécie no Brasil. Isso tem refletido melhor os padrões reais de diversidade das espécies do que os obtidos até o momento com outras ferramentas moleculares (SSRs e Isoenzimas), deixando evidente a alta diversidade dentro das populações e colaborando para diferenciação “Norte” e “Sul”, conforme já observada em outros estudos, mas com o dobro da magnitude (Silva et al., 2020). Esses autores também observaram estimativas mais acuradas de F_{st} bem como a diferença entre as regiões “Norte” e “Sul” de ocorrência da araucária. Além disso, segundo os autores, o catálogo de SNPs poderá fornecer resultados mais acurados para análises genéticas intrapopulacionais, viabilizando a reconstrução de parentesco e do sistema de cruzamentos, bem como da estrutura populacional em escala fina e relações filogeográficas.

O catálogo de SNPs será aplicado também no melhoramento genético da araucária, em teste piloto de procedências (15) e progênies estabelecido em 1980, em Itapeva, SP (Instituto Florestal de São Paulo). Matrizes selecionadas foram analisadas com o uso de marcadores SNPs, usando-se o Axiom® com ~ 3.000 marcadores SNPs desenvolvidos para a espécie. Os dados de genotipagem serão relacionados com caracteres fenotípicos de crescimento, produção de pinhão e outros. O objetivo é reduzir o ciclo de melhoramento genético da araucária que, atualmente, é em torno de 30 anos, bem como selecionar indivíduos de melhor qualidade, com base nos valores genômicos.

Além do catálogo de SNPs desenvolvido por Silva et al. (2020), transcriptoma da espécie também foi estabelecido, com características similares àquelas de outras coníferas, em termos de tamanho (54 Mbp), número de contigs (43.608 transcritos) e comprimento médio de transcrição (1.205 pb), com uma boa qualidade de montagem (pontuação >0,3), superiores àquelas depositadas no NCBI. Esse transcriptoma poderá ser usado para outros estudos genômicos da espécie.

A análise da expressão gênica é vista também como uma importante ferramenta para elucidar os gargalos que comprometem a eficácia das medidas de conservação e melhoramento genético da araucária. Essa ferramenta tem sido usada na prospecção de genes expressos, em ambientes e, ou condições fisiológicas divergentes, possibilitando análises comparativas entre indivíduos, variedades e populações, bem como a descrição de vias metabólicas e comparações filogenéticas, dentre outros. No caso da araucária, essa pode ser uma ferramenta importante, principalmente na identificação precoce do sexo (dimorfismo sexual) em pomares de sementes e em povoamentos destinados à produção de pinhão, de maneira a estabelecer o arranjo ideal para cada situação.

Manuseio de pólen e polinização controlada na Embrapa Florestas

Uma das principais dificuldades do melhoramento genético da araucária ocorre na polinização controlada (Shimizu; Oliveira, 1981), em razão das características biológicas próprias da espécie anteriormente apontadas. Os estudos de fenologia e de manuseio de pólen de araucária visando à conservação e à manutenção da sua viabilidade tiveram início na década de 2000 (Sousa, 2001; Sousa, Hattemer, 2003a). Para o cruzamento entre árvores selecionadas de regiões distintas e reprodução em períodos distintos, é primordial recorrer-se ao manuseio de pólen. Etapas como a coleta, secagem, extração, armazenamento e testes de viabilidade fazem parte desse processo (Figura 14).



Figura 14. Manuseio de pólen de *Araucaria angustifolia* para armazenamento e polinização controlada.

Resultados obtidos pela Embrapa Florestas têm mostrado que a coleta de estróbilos masculinos deve ser feita no período de setembro a outubro, na região de Colombo, PR. Em outras regiões, deverão ser realizados estudos de fenologia para orientar essa etapa. Os estróbilos devem ser coletados ainda verdes, mas próximos à maturação (quando os estróbilos mudam de cor para amarelada e, ou, depois da liberação do pólen, para a cor marrom). Quando a intenção é realizar cruzamentos específicos, os estróbilos devem ser manipulados de maneira a evitar a contaminação com pólen indesejável de outras árvores .

O nível de desidratação ideal deve considerar a temperatura de armazenamento do pólen, devendo ser mais drástica para o armazenamento em freezers (-20 °C, -40 °C e -80 °C) e temperaturas

criogênicas (gases liquefeitos: $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). A secagem do pólen de araucária pode ser realizada de três maneiras: i) em dessecadores com sílica-gel e sob vácuo, ii) em estufa sob temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e de preferência com circulação forçada de ar ou iii) no liofilizador, para a redução drástica da umidade (Sousa et al., 2010b). Estudos apontam que a umidade do pólen próxima de 10% permite a manutenção da viabilidade (Sprague; Johnson, 1977), impedindo a formação de cristais de gelo no processo de congelamento e, conseqüentemente, o rompimento da membrana celular e a destruição do pólen. A combinação da liofilização com a criopreservação constitui-se em um método mais promissor para manter a viabilidade do pólen no longo prazo e está sendo aplicada no armazenamento e na conservação do pólen de araucária, semelhante aos trabalhos realizados para o armazenamento de outras espécies de plantas (Perveen; Khan, 2009; Perveen; Ali, 2010; Khan; Perveen, 2011).

Esforços para a otimização do teste de viabilidade, ferramenta essencial para avaliar o pólen (Figura 15) fresco e armazenado, têm sido também dispendidos. Tem sido considerada principalmente a germinação *in vitro*, que busca reproduzir as condições naturais onde o pólen germina. Todavia, não foi possível, até o momento, definir o meio de cultura adequado para essa finalidade. O meio mais utilizado para outras espécies, com 0,80% de ágar, é ideal para araucária, mesmo com a adição de açúcares e micronutrientes (Sousa-Lang; Pinto Júnior, 1996; Guimarães et al., 2018; Sousa et al., 2019). A germinação não tem sido satisfatória, mesmo com uso de longos períodos de incubação (72 e 96 horas). Esse fato pode ser explicado pelas características biológicas da espécie como o longo ciclo reprodutivo, com efeito direto no período de germinação do pólen, acrescido da dificuldade de incrementar o período de incubação devido à contaminação por fungos e bactérias



Fotos: Valderês Aparecida de Sousa

Figura 15. Teste de germinação *in vitro* do pólen de *Araucaria angustifolia* no laboratório da Embrapa Florestas.

Em decorrência dessa situação, cogita-se estudar outras variáveis como o incremento do período de reidratação do pólen antes da germinação, dentre outras. Adicionalmente, o uso de corantes específicos pode ser promissor e, dentre esses, destacam-se: o cloreto de trifeniltetrazólio (TTC), o carmim acético, o azul de anilina, o azul de algodão, o iodeto de potássio (indicados por Linskens e Stanley (1974) e o corante de Alexander (1969, 1980). Apesar da possibilidade de que corantes específicos possam induzir à superestimação da viabilidade do pólen (Linskens; Stanley, 1974; Munhoz et al., 2008), poderá vir a ser uma forma mais rápida e prática de fornecer as informações necessárias para o manuseio adequado do pólen.

Polinização controlada

Estudos de fenologia reprodutiva em araucária são primordiais nas atividades de polinização controlada, especialmente pelo fato do ciclo reprodutivo ser longo (Shimoya, 1962; Sólorzano-Filho, 2001). O ciclo completo no caso dos estróbilo masculinos é de um ano (Sólorzano-Filho, 2001) e de aproximadamente quatro anos para os estróbilos femininos (Shimoya, 1962; Solórzano-Filho, 2001). Como a liberação do pólen se dá basicamente do final de agosto a outubro (Shimoya, 1962; Carvalho, 1994; Mantovani et al., 2004), o isolamento dos estróbilos femininos para a polinização controlada deverá ocorrer no final de julho ou no início de agosto. A polinização do estróbilo feminino deve ser feita no estágio adequado de maturação do estróbilo (Figura 16), para propiciar maior produção de sementes. Quando houver dificuldade na identificação do estágio ideal de maturação, é recomendável efetuar a polinização duas vezes. Shimoya (1962) estimou um período de 12 a 13 meses após a polinização para que ocorra a fertilização e mais 15 meses para as sementes atingirem a maturação. Ainda, segundo Shimoya (1962), o período compreendido desde a diferenciação do botão feminino até a liberação das sementes estende-se por, aproximadamente, quatro anos.



Figura 16. Estróbilos femininos de *Araucaria angustifolia* em casa de vegetação, aos onze meses após a enxertia em topo de fenda cheia.

Em Colombo, PR, o isolamento dos estróbilos femininos da araucária é realizado no período de agosto a outubro e a polinização é feita em outubro. As sementes originadas desse cruzamento são coletadas em torno de 24 meses após a polinização.

Considerações finais

Apesar do grande valor social, ambiental e econômico da araucária, obstáculos ao avanço no programa de melhoramento e conservação genética persistem. Esses problemas têm limitado o avanço, especialmente dos programas de melhoramento genético. Todavia, progressos interessantes têm sido obtidos no avanço das pesquisas em diferentes frentes.

De maneira geral, nas estratégias de melhoramento genético e conservação, devem ser consideradas a divergência e a diversidade genética entre as duas grandes regiões de ocorrência natural da espécie (“Norte” e “Sul”). No melhoramento genético, as progênies oriundas dessas duas regiões



podem ser estabelecidas em diferentes sítios, tanto nas regiões de ocorrência da espécie quanto fora delas, no intuito de propiciar a expressão de características para seleção e identificação de cultivares para a produção de pinhão e madeira. Para a conservação genética da espécie, deve-se adotar as diferentes estratégias *in situ*, *ex situ* e *on farm* como descrito ao longo desse capítulo. Os bancos ativos de germoplasma devem ser estabelecidos, pelo menos, nas duas grandes regiões de ocorrência da espécie, cada um composto por diferentes acessos (progênies) de cada região. No contexto do melhoramento genético, deve-se priorizar as atividades de acompanhamentos dos eventos fenológicos, bem como a execução de polinizações controladas para a produção de novos genótipos superiores de araucária.

A caracterização genética também deve ser realizada não somente para auxiliar na conservação e uso das populações naturais de *A. angustifolia*, mas principalmente para proporcionar suporte científico no desenvolvimento de políticas públicas voltadas à elaboração de propostas para o uso e o manejo sustentável da espécie, nas diferentes regiões de ocorrência natural.

Agradecimentos

Ao pesquisador Sergio Gaiad pelo incentivo e apoio na elaboração deste capítulo e do livro de araucária como um todo. Aos técnicos da Embrapa Florestas: Harry Albino Hoffman, Antonio Sadao Kodama, Roberto Carletto, José Amauri Moreira Antunes, Ademar Cecon, Arnaldo de Oliveira Soares, Carlos Roberto Urio, e aos assistentes da Embrapa Florestas Mário Kioshi Yamada, Reginaldo Gonçalves e Ozias Nunes da Veiga, pelo apoio em inúmeros trabalhos de campo. À Daiane Rigoni e Marianne Bernardes da Embrapa Florestas, pelo apoio nas atividades laboratoriais. Aos parceiros pelo apoio, especialmente, instituições públicas e privadas, universidades, produtores rurais e demais colaboradores que contribuíram, direta e indiretamente, com as atividades de pesquisas para a espécie.

Referências

- ADAN, N. **Uso, manejo, conhecimento local e caracterização morfológica de variedades de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., no planalto serrano catarinense.** 2013. 153 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- AHUJA, M. R.; NEALE, D. B. Evolution of genome size in conifers. **Silvae Genetica**, v. 54, p. 126-137, 2005.
- ALEXANDER, M. P. A versatile stain for pollen fungi, yeast and bacteria. **Stain Technology**, v. 55, n. 1, p. 13-18, 1980.
- ALEXANDER, M. P. Differential staining of aborted and nonaborted pollen. **Stain Technology**, v. 44, n. 3, p. 117-122, 1969.
- ALMQVIST, C.; EKBERGZ, I. Interstock and ga, effects on flowering after topgrafting in pznus sylvestrzs. **Forest Genetics**, v. 8, n. 4, p. 279-284, 2001.
- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F.; BONA, C. Fenologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, na região de Curitiba – PR. **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 44-52, 2006.
- AQUINO, F. M. **Cultivo da *Araucaria angustifolia*: viabilidade econômico financeira e alternativas de incentivo.** Florianópolis: Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul, 2005. p. 53.
- ASTARITA, L. V.; GUERRA, M. P. Early somatic embryogenesis in *Araucaria angustifolia*: induction and maintenance of embryonal-suspensor mass cultures. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 10, p. 113-118, 1998.



- AULER, N. M. F.; REIS, M. S. dos; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. The genetics and conservation of *Araucaria angustifolia*: genetic structure and diversity of natural populations by means of nonadaptive variation in the state of Santa Catarina, Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, p. 239-338, 2002.
- 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, e3376, 2008.
- BALBINOT, R.; GARZEL, J. C. L.; WEBER, K. S.; RIBEIRO, A. B. Tendências de consumo e preço de comercialização da pinhão semente da *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., no Estado do Paraná. **Ambiência**, v. 4, n. 3, p. 463-472, 2008.
- BALDANZI, G.; RITTERSHOFER, F. O.; REISSMAN, C. B. Ensaio comparativo de procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2., 1973, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: FIEP, 1973. p. 123-124.
- BANDEL, G.; GURGEL, J. A. A. Proporção do sexo em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Silvicultura em São Paulo**, v. 6, n. único, p. 209-220, 1967.
- BANDEL, G. Os Cromossomos da *Araucaria angustifolia* (Bert.) E. da *Araucaria araucana* (Molina) Ktze. **O Solo**, v. 12, p. 69-72, 1970.
- BARRETT, S. C. H. The evolution of mating strategies in flowering plants. **Trends in Plant Science**, v. 3, n. 9, p. 335-341, 1998.
- BENIEST, J.; DEBERGH, P. Nutritional and hormonal requirements for the growth of *Araucaria araucana* callus in vitro. **Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent.**, v. 41, p. 1599-1610, 1976.
- BETTIO, G. P.; WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Enraizamento de estacas de *Araucaria angustifolia*. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 7., 2008, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 1 CD Rom. Resumo.
- BITTENCOURT, J. V. M. Proposta para conservação genética da *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 55, p. 87, 2007.
- BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Genetic effects of forest fragmentation in high-density *Araucaria angustifolia* populations in Southern Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, v. 5, n. 4, p. 573-582, 2009.
- BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Patterns of pollen and seed dispersal in a small, patterns of pollen and seed dispersal in a small, *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. **Heredity**, v. 99, p. 580-59, 2007.
- BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Pollen movement within a continuous forest of wind-pollinated *Araucaria angustifolia*, inferred from paternity and two gener analysis. **Conservation Genetics**, v. 9, n. 4, p. 855-868, 2008.
- BORDIGNON, M.; MONTEIRO-FILHO, E. L. O serelepe *Sciurus ingrami* (Sciuridae: Rodentia) como dispersor do pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae: Pinophyta). **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 3, n. 2, 2000.
- BOULAY, M. Conifer micropropagation: applied research and commercial aspects. In: BONGA, J. M.; DURZAN, D. J. (ed.). **Cell and tissue culture in forestry**. Dordrecht: Springer, 1987. p. 185-206. (Forestry Sciences, 24-26).
- BOWE, L. M.; COAT, G.; DEPAMPHILIS, C. W. Phylogeny of seed plants based on all three genomic compartments: extant gymnosperms are monophyletic and Gnetales' closest relatives are conifers. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 97, p. 4092-4097, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.97.8.4092>.
- BRAMLETT, D. L.; BURRIS, L. C. Topworking young scions into reproductively: mature loblolly pine. In: WEIR, R. J.; HATCHER, A. V. (ed.). **Proceedings of the 23rd Southern Forest Tree Improvement Conf; 1995 June 20-22. Asheville, NC**. Raleigh: North Carolina State University, 1995. p. 234-241.
- BRAMLETT, D. L. Genetic gain from mass controlled pollination and topworking. **Journal of Forestry**, v. 95, n. 3, p. 15-19, 1997.



BRAMLETT, D. L.; WILLIAMS, C. G.; BURRIS, C. Surrogate pollen induction shortens the breeding cycle in loblolly pine. **Tree Physiology**, v. 15, p. 531-535, 1995.

BURROWS, G. E.; DOLEY, D. D.; HAINES, R. J.; NIKLES, D. G. In vitro propagation of *Araucaria cunninghamii* and other species of the Araucariaceae via axillary meristems. **Australian Journal of Botany**, v. 36, n. 6, p. 665-676, 1988.

BURROWS, G. E. In vitro culture of hoop pine (*Araucaria cunninghamii* Aiton exDon). Queensland Department of **Forestry Research Report**, v. 3, p. 36-37, 1981.

BURROWS, G. E. Organ culture of some species of the Araucariaceae. Anatomical aspects of bud development. In: AUSTRALIA PLANT TISSUE CULTURE CONFERENCE, 2., 1983, Sydney. **Proceeding** [...].Sydney: Spring, 1983. p.18.

CACCAVARI, M. Dispersión del polen en *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie**, v. 5, n. 2, p. 135-138, 2003.

CARDEMIL, L.; JORDAN, M. Light and electron microscopic study of in vitro cultured female gametophyte of *Araucaria araucana* (Mo~) Koch. **Pflanzenphysiologie**, v. 107, p. 329-338, 1982.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1.039 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.

CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro-do-Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 60).

CNCFLORA. Centro Nacional de Conservação da Flora. *Araucaria angustifolia*. In: _____. **Lista vermelha da flora brasileira versão 2012.2**. Rio de Janeiro, [2013]. Disponível em: [http://cncfl ora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profi le/Araucaria angustifolia](http://cncfl ora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profi le/Araucaria%20angustifolia). Acesso em: 19 abr. 2021.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasília, DF). Resolução CONAMA 278, de 24 de maio de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, n. 138-E, p. 51-52, 18 jul. 2001.

COSTA, N. C. F.; GUIDOLIN, A. F.; VARGAS, O. F.; MANTOVANI, A. Efeitos da paisagem de campo e florestamento com Pinus na diversidade e estrutura genética de pequenas populações remanescentes de *Araucaria angustifolia*. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 551-560, 2015.

CRISTOFOLINI, C. **Dinâmica da diversidade genética de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em paisagem de campo no Estado de Santa Catarina**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DAL BEM, E. A.; BITTENCOURT, J. V. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Cenários de corte seletivo de árvores na diversidade genética e área basal de populações de *Araucaria angustifolia* com base em modelagem Ecogene. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 406, p. 453-466, 2015.

DANNER, M. A.; RIBEIRO, J. Z.; ZANETTE, F.; BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Impact of monoecy in the genetic structure of a predominately dioecious conifer species, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, n. 5, p. 949-958, 2013.

DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. O cultivo da araucária para produção de pinhões como ferramenta para a conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 441-551, 2012.

DEMARCHI, G.; STEFENON, V. M.; STEINER N.; VIEIRA, F. N.; VESCO, L. L.; GUERRA, M. P. Ultra-low temperature conservation of Brazilian Pine embryogenic cultures. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 4, p. 2057-2063, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201420130405>.

DELGADO, M. E.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. Indução de brotações basais e estaquia de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 6., 2007, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. Resumo.



DIGGLE, P. K.; DI STILIO, V. S.; GSCHWEND, A. R.; GOLENBERG, E. M.; MOORE, R. C.; RUSSELL, J. R. W.; SINCLAIR, J. P. Multiple developmental processes underlie sex differentiation in angiosperms. **Trends Genetics**, v. 27, p. 368-376, 2011.

DO CARMO, J. L.; DE SOUSA, V. A.; LAVORANTI, O. J. Critérios de amostragem de sementes de araucária via análise multivariada. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 14., 2015, Colombo. **Anais[...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. CD Room.

DUARTE, R. I. **Caracterização da diversidade genética de uma população de *Araucária angustifolia* (BERT.) O. Kuntze**. 2011. 52 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DUARTE, R. I.; SILVA, F. A. L. S.; SCHULTZ, J.; SILVA, J. Z.; REIS, M. S. Características de desenvolvimento inicial em teste de progênie de uma população de araucária na flona de Três Barras-SC. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 114-123, 2012.

EIRA, M. T. S.; SALOMÃO, A. N.; CUNHA, R. da; CARRARA, D. K.; MELLO, C. M. C. Efeito do teor de água sobre a germinação de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. - Araucariaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 16, p. 71-75, 1994. DOI: <https://doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v16n1p71-75>.

ENRIGHT, N. J.; HILL, R. S. (ed.) **Ecology of the Southern Conifers**. Melbourne: Melbourne University Press, 1995. 342 p.

ESCAPA, I. H.; CATALANO, S. A. Phylogenetic analysis of Araucariaceae: integrating molecules, morphology, and fossils. **International Journal of Plant Sciences**, v. 174, n. 8, p. 1153-1170, 2013.

FARJON, A. *Araucaria angustifolia*. 2006. In: IUCN Red List of Threatened Species. V. 2011.2. 2006. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 17 fev. 2019.

FARIAS-SOARES, F. L.; BURRIEZA, H. P.; STEINER, N.; MALDONADO, S.; GUERRA, M. P. Immunoanalysis of dehydrins in *Araucaria angustifolia* embryos. **Protoplasma**, v. 250, p. 911-918, 2013.

FARIAS-SOARES, F. L.; STEINER, N.; SCHMIDT, E. C.; PEREIRA, M. L. T.; ROGGE-RENNER, G. D.; BOUZON, Z. L.; FLOH, E. I. S.; GUERRA, M. P. The transition of proembryogenic masses to somatic embryos in *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is related to the endogenous contents of IAA, ABA and polyamines. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, p. 1853-1865, 2014.

FERREIRA, D. K. **Caracterização genética e estrutura populacional de diferentes origens de *Araucaria angustifolia* na FLONA de Três Barras**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

FERREIRA, D. K.; NAZARENO, A. G.; MANTOVANI, A.; BITTENCOURT, R.; SEBBENN, A. M.; REIS, M. S. Genetic analysis of 50-year old Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) plantations: implications for conservation planning. **Conservation Genetics**, v. 13, n. 2, p. 435-442, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, A.; ORELLANA, E.; NASCIMENTO, F.; DIDAS, A. N.; INOUE, M. T. Produção de sementes de *Araucaria angustifolia* em plantio e em floresta natural no centro-sul do Estado do Paraná. **Floresta**, v. 41, n. 1, p. 153-160, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. A. S.; KOHLER, S. V.; BECKER, M.; BRANDES, D. Efeito da Idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 50-59, 2015.

FRANCIS, J. K. ***Araucaria heterophylla* (Salisb) Franco, Norfolk-Island-pine**. New Orleans: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 1987. Res. Note SO-ITF-SM-11.

FUPEF. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Conservação do Bioma Floresta com Araucária: relatório final**: diagnóstico dos remanescentes florestais/ PROBIO Araucária. Curitiba, 2001. 2 v. 236 p.

GASPAR, R. G. B.; WENDLING, I.; STUEPP, C. A.; ANGELO, A. C. Idade do porta-enxerto e hábito de crescimento influenciam na enxertia de compa em *Araucaria angustifolia*. **Cerne**, v. 2, n. 4, p. 465-471, 2017.

GIANNOTTI, E.; TIMONI, J. L.; MARIANO, G.; COELHO, L. C. C.; FONTES, M. de A.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética entre procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. **Silvicultura em São Paulo**, v. 16-A, pt. 2, p. 970-975, 1982.



GOETEN, D.; ROGGE-RENNER, G. D.; SCHMIDT, E. C.; BOUZON, Z. L.; FARIAS, F. L.; GUERRA, M. P.; STEINER, N. Updating embryonic ontogenesis in *Araucaria angustifolia*: from Burlingame (1915) to the present. **Protoplasma**, v. 257, p. 931-948, 2020.

GOODING, G. D.; BRIDGWATER, F. E.; BRAMLETT, D. L.; LOWE, W. J. Topgrafting loblolly pine in the Western Gulf Region. In: BIENNIAL SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 25., 1999, New Orleans, Louisiana. **Proceedings** [...]. [S.l. : s.n.], 1999. (Scientific Journal).

GOODWILLIE, C.; KALISZ, S.; ECKERT, C. G. The evolutionary enigma of mixed mating systems in plants: occurrence, theoretical explanations, and empirical evidence. **Annual Review Of Ecology Evolution, and Systematics**, v. 36, p. 47-79, 2005.

GUERRA, M. P.; KEMPER, E. Tecnologias Futuras: Aplicação da poliembriogenese somatica para a propagar massal de plantas elite de *Araucaria angustifolia* (Bert) O Ktze. In: CONGRESSO NACIONAL SABRE ESSENCIAS, São Paulo, 1992. **Anais** [...]. São Paulo: [s.n.], 1992. p. 1233-1236.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (org.) **Sustentável Mata Atlântica**: a exploração de seus recursos florestais. São Paulo: Editora SENAC, 2002. p. 85-102.

GUERRA M. P.; SILVEIRA V.; SANTOS, A. L. W.; ASTARITA, L. V.; NODARI, R. O. Somatic embryogenesis in *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. In: JAIN, S. M.; GUPTA, P. K.; NEWTON, R. J. (ed.) **Somatic embryogenesis in woody plants**. Dordrecht: Kluwer, 2000. v. 6. p. 457-478.

GUIMARÃES, G.; SOUSA, V. A. de; AGUIAR, A. V. de. Adequação do meio de cultura para a germinação in vitro do pólen de araucária. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 17., 2018, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2018.

GURGEL FILHO, O. A. Silvicultura da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1980. **Anais** [...]. Curitiba: FUPEF, p. 29-68, 1980.

GURGEL, J. T. A.; GURGEL FILHO, O. A. Evidências de raças geográficas no pinheiro-brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ciência e Cultura**, v. 17, n. 1, p. 33-39, 1965.

HAINES, R. J.; FOSSARD, R. A. Propagation of Hoop pine (*Araucaria cunninghamii* Ait.) by organ culture. **Acta Horticulture**, v. 78, p. 297-302, 1977.

HAMPP, R.; MERTZ, A.; SCHAIBLE, R.; SCHWAIGERER, M.; NEHLS, U. Distinction of *Araucaria angustifolia* seeds from different locations in Brazil by a specific DNA sequence. **Trees**, v. 14, n. 8, p. 429-434, 2000.

HANDRO, W.; FERREIRA, C. M. Preliminary report on tissue culture of *Araucaria angustifolia*. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, v. 8, p. 71-84, 1980.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Plant propagation**: principals and practices. 4th ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1983.

HIZUME, M.; KAN, M. Fluorescent banding pattern of chromosomes in *Araucaria araucana*, Araucariaceae. **Cytologia**, v. 80, n. 4, p. 399-403, 2015.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2014**. São Paulo, 2014. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**: PEVS. Rio de Janeiro, 2013, v. 28, p. 1-69.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**: PEVS. Rio de Janeiro, 2016. 230 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**: PEVS. Rio de Janeiro, 2019. Acesso em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2019>. Acesso em 19 abril 2021.

ILLUMINA. **HiSeq 2500 specifications**. Disponível em: http://www.illumina.com/systems/hiseq_2500_1500/performance_specifications.html. Acesso em: 14 fev. 2018.



- IMAGUIRE, N. Condições ambientais para a *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze. **Dusenía**, v. 11, n. 3, p. 121-127, 1979.
- INZA, M. V.; AGUIRRE, N. C. TORALES, S. L., PAHR, N. M., FASSOLA, H. E., FORNES, L. F., ZELENER, N. Genetic variability of *Araucaria angustifolia* in the Argentinean Parana Forest and implications for management and conservation. **Trees**, v. 32, n. 4, p. 1135-1146, 2018.
- IRITANI, C.; ZANETTE, F.; CISLINKSKI, J. Aspectos anatômicos da cultura in vitro da *Araucaria angustifolia*. I. Organização e desenvolvimento dos meristemas axilares ortotrópicos de segmentos caulinares. **Acta Biológica Paranaense**, v. 21, p. 57-76, 1992.
- IRITANI, C.; ZANETTE, F.; CISLINKSKI, J. Aspectos anatômicos da cultura in vitro da *Araucaria angustifolia*. II. O enraizamento dos brotos axilares. **Acta Biológica Paranaense**, v. 22, p. 1-13, 1993.
- KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Propagação vegetativa por enxertia *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, n. 11, p. 95-102, 1975.
- KAGEYAMA, P. Y.; JACOB, W. S. Variação genética entre e dentro de populações de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p. 83-86.
- KHAN, S. A.; PERVEEN, A. Pollen germination capacity and viability in *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley (Cucurbitaceae). **Pakistan Journal of Botany**, v. 43, n. 2, p. 827-830, 2011.
- KONG, L.; ADERKAS, P. V.; ZAHARIA, L. I. Effects of stem-injected gibberellins and 6-benzylaminopurine on phytohormone profiles and cone yield in two lodgepole pine genotypes. **Trees: Structure and Function**, v. 32, n. 3, p. 765-775, 2018.
- KOVACH, A.; WEGRZYN, J. L.; PARRA, G.; HOLT, C.; BRUENING, G. E.; LOOPSTRA, C. A.; HARTIGAN, J.; YANDELL, M.; LANGLEY, C. H.; KORF, I.; NEALE, D. B. The *Pinus taeda* genome is characterized by diverse and highly diverged repetitive sequences. **BMC Genomics**, v. 11, article number 420, 2010.
- LACERDA, A. E. Conservation strategies for Araucaria Forests in Southern Brazil: assessing current and alternative approaches. **Biotropica**, v. 48, n. 4, p. 537-544, 2016.
- LAMBERTS, A. V. D. H. **Predação e sobrevivência de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze em áreas de mata nativa e plantação de *Pinus eliotti* na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS**. 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Campinas, Campinas.
- LAUTERJUNG, M. B.; BERNARDI, A. P.; MONTAGNA, T.; CANDIDO-RIBEIRO, R., DA COSTA, N. C. F.; MANTOVANI, A.; DOS REIS, M. S. Phylogeography of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*): integrative evidence for pre-Columbian anthropogenic dispersal. **Tree Genetics & Genomes**, v. 14, n. 3, article number 36, 2018.
- LI, D. Z.; PRITCHARD, H. W. The science and economics of *ex situ* plant conservation. **Trends in Plant Science**, v. 14, n. 11, p. 614-621, 2009.
- LINSKENS, H. F.; STANLEY, R. G. **Pollen: biology, biochemistry, management**. Berlin: Springer-Verlag, 1974. 307 p.
- MACHADO, J. A. R. **Viabilidade técnica e econômica da conservação e uso da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em teste de procedências e progênies**. 2018. 98 f. Tese (Doutorado em Sistema de Produção) – Universidade do Estado de São Paulo, Ilha Solteira.
- MAENE, L.; DEBERGH, P. Araucaria. In: BONGA, J. M.; DURZAN, D. J. **Cell and tissue culture in rorestry, cell histories, gymnosperms, angiosperms and palms**. Martinus Nijhoff, Dordrecht: Springer, 1987. p. 176-184.
- MAENE, L. J.; DEBERGH, P. C. Preliminary results on organ culture of *Araucaria excelsa* (Lamb.) R. Br. In: PROCEEDINGS COLL INT SUR LA CULTURE IN VITRO DES ESSENCES FORESTIÈRES. Nangis, France: AFOCEL, 1981. p. 155 -158.
- MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; DOS REIS, M. S. Internal genetic structure and outcrossing rate in a natural population of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Journal of Heredity**, v. 97, n. 5, p. 466-472, 2006.



MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. D. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Brazilian Journal of Botany**, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2 ed. Lajes: Artes Gráficas Princesa, 1994. 225 p.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 700 p.

MATTOS, J. R. **The Brazilian Pine [*Araucaria angustifolia*]**. Lajes: Artes Gráficas Princesa, 1972. 620 p.

MAZZA, M. C. M. Use of rapid markers in the study of genetic diversity of *Araucaria angustifolia* (Bert.) populations in Brazil. In: INTERNATIONAL FOUNDATION SCIENCE (Stockholm, Sweden). **Recent advances in biotechnology for tree conservation and management**: Proceedings of an INF Workshop, Florianópolis, Brazil, 15-19 September 1997. Stockholm: IFS / UFSC, 1997. p. 103-111

MCKEAND, S. E.; RALEY, F. Interstock effect on strobilus initiation in topgrafted loblolly pine. **Forest Genetics**, v. 7, n. 3, p. 179-182, 2000.

MEDIROS, A. D. S.; WALTERS, C.; HILL, L. Sensibilidade de embriões do pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*) à desidratação e baixa temperatura. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 48, p. 129-137, 2004.

MEDINA- MACEDO, L.; DE LACERDA, A. E. B.; SEBBENN, A. M.; RIBEIRO, J. Z.; SOCCOL, C. R.; BITTENCOURT, J. V. M. Using genetic diversity and mating system parameters estimated from genetic markers to determine strategies for the conservation of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae). **Conservation Genetics**, v. 17, n. 2, p. 413-423, 2016.

MEDINA-MACEDO, L.; SEBBENN, A. M.; LACERDA A. E.; RIBEIRO, J. Z.; SOCCOL, C. R.; BITTENCOURT, J. V. High levels of genetic diversity through pollen flow of the coniferous *Araucaria angustifolia*: a landscape level study in Southern Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, v. 1, n. 1, 814, 2015.

MEDRI, C.; RUAS, P. M.; HIGA A. R., MURAKAMI, M.; DE FÁTIMA RUAS, C. Effects of forest management on the genetic diversity in a population of *Araucaria angustifolia* (Bert.). **O Kuntze Silvae Genetica**, v. 52, p. 202-205, 2003.

MENON, S.; CHOUDHURY, B. I.; KHAN, M. L.; PETERSON, A. T. Ecological niche modeling and local knowledge predict new populations of *Gymnocladus assamicus* a critically endangered tree species. **Endanger Species Research**, v. 11, n. 2, p. 175-181, 2010.

MONTAGNA, T.; FERREIRA, D. K.; STEINER, F.; DA SILVA, F. A. L. S.; BITTENCOURT, R.; DA SILVA, J. Z.; DOS REIS, M. S. A importância das Unidades de Conservação na manutenção da diversidade genética de araucária (*Araucaria angustifolia*) no Estado de Santa Catarina. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 18-25, 2012.

MONTEIRO, R. F. F.; SPELTZ, R. M. Ensaio de 24 procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p. 181-200.

MORAES, A. S. L. **Desempenho produtivo e variação genética entre procedências e progênes de *Araucaria angustifolia***. 2017. 41 f. Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva, Itapeva, SP. Não publicado.

MORSE, A. M.; PETERSON, D. G.; ISLAM-FARIDI, M. N.; SMITH, K. E.; MAGBANUA, Z.; GARCIA, S. A.; KUBISIAK, T.L.; AMERSON, H. V.; CARLSON, J. E.; NELSON, C. D.; DAVIS, J. M. Evolution of genome size and complexity in *Pinus*. **PLoS One** v. 4, n. 2, p. e4332, 2009.

MUNHOZ, M.; LUZ, C. F. P. D.; MEISSNER FILHO, P. E.; BARTH, O. M.; REINERT, F. Viabilidade polínica de *Carica papaya* L.: uma comparação metodológica. **Brazilian Journal of Botany**, v. 31, n. 2, p. 209-214, 2008.

MURAKAMI, M. H. **Identificação de marcador molecular associado a expressão sexual em *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze**. 2002. Tese (de Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MURRAY, B. G.; LEITCH, I. J.; BENNETT, M. D. **Gymnosperm DNA Cvalues database** (release 4.0, Dec. 2010). Disponível em: <http://www.kew.org/cvalues/>. Acesso em: dez. 2010.

NARDIN, C. F. **Demografia da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e recomendações para a exploração sustentável do pinhão no município do Turvo (PR)**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável) - Instituto de Pesquisas Ecológicas, Nazaré Paulista.



- NIKLAS, K. J. The aerodynamics of wind pollination. **The Botanical Review**, v. 5, p. 328-386, 1985.
- NIU, S.; YUAN, L.; ZHANG, Y.; CHEN, X.; LI, W. Isolation and expression profiles of gibberellin metabolism genes in developing male and female cones of *Pinus tabulaeformis*. **Functional & Integrative Genomics**, v. 14, n. 4, p. 697-705, 2014.
- PACIFIC BIOSCIENCES. **SMRT sequencing**: read lengths. Disponível em: <http://www.pacb.com/smrt-science/smrt-sequencing/read-lengths/>. Acesso em: 14 fev. 2018.
- PÁDUA, J. A. R. D. **Diversidade e estrutura genética de populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) no estado de Minas Gerais**. 2015. 12 f. Tese (Doutorado em Silvicultura e Genética Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PALUDO, G. F. **Estudo populacional de *Araucaria angustifolia* em paisagem de campo e de floresta**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. D. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva Genética Florestal de Caçador, Estado de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.
- PATREZE, C. M.; TSAI, S. M. Intrapopulational genetic diversity of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is different when assessed on the basis of chloroplast of nuclear markers. **Plant Systematic and Evolution**, v. 284, p. 111-122, 2010.
- PERVEEN, A.; ALI, S. Maintenance of pollen germination capacity of *Vitis vinifera* L. (vitaceae). **Pakistan Journal of Botany**, v. 4, n. 5, p. 3001-3004, 2010.
- PERVEEN, A.; KHAN, S. A. Maintenance of pollen germination capacity of *Glycine max* (L.) Merr., (Papilionaceae). **Pakistan Journal of Botany**, v. 41, n. 5, p. 2083-2086, 2009.
- PEREIRA-DIAS, F.; STEINER, N.; CANGAHAULA-INOCENTE, C. G.; LANDO, A. P.; SANTOS, M.; GUERRA, M. P. Integrated proteomics and histochemical analysis of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) in embryogenic suspension culture. **Annals of Forest Research**, v. 63, n. 2, p. 27-43, 2020.
- PETERSON, D. G. S. R.; SCHULZE, E. B.; SCIARA, S. A.; LEE, J. E.; BOWERS, J. E.; NAGEL, A.; JIANG, N.; TIBBITS, D. C.; WESSLER, S. R.; PATERSON, A. H. Integration of Cot analysis, DNA cloning, and highthroughput sequencing facilitates genome characterization and gene discovery. **Genome Research**, v. 12, p. 795-807, 2002.
- PHARIS, R. P.; WEBBER, J. E.; ROSS, S. D. The promotion of flowering in forest trees by gibberellin A47 and cultural treatments: a review of the possible mechanisms. **Forest Ecology and Management**, v. 19, n. 1-4, p. 65-84, 1987.
- PIJUT, P. M. Eastern white pine flowering in response to spray application of gibberellin A4/7 or Procone™. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 19, n. 2, p. 68-72, 2002.
- PINTO, S. A. A. Influência da dioécia no diâmetro e na altura de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O.KTZE. e suas implicações na formação de áreas de produção de áreas de produção de sementes na região de Quedas do Iguaçu - Estado do Paraná. **Silvicultura**, v. 7, n. 23, p. 44, 1982.
- PIRES, C. L. S. Teste de progênie de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. K. em Campos do Jordão. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, v. 36, n. 1, p. 29-35, 1982.
- PIRES, P. P.; WENDLING, I.; AUER, C. G.; KRATZ, D. Diferentes métodos de enxertia em *Araucaria angustifolia*. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 9., 2010, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 1 CD-Rom. (Embrapa Florestas. Documentos, 198).
- PIRES, P. P.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. Ácido indolbutírico e ortotropismo na miniestaquia de *Araucaria angustifolia*. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 393-397, 2013.
- PIRES, P. T. L.; ZENI J. R.; D. M.; GAULKE, D. As unidades de conservação e a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 589-603, 2012.
- POOVAIAH, C.; PHILLIPS, L.; GEDDES, B.; REEVES, C.; SORIEUL, M.; THORLBY, G. Genome Editing With CRISPR/Cas9 in *Pinus Radiata* (D. Don). (Preprints). Disponível em: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-117877/v1/7ff37129-ca7f-429c-9d96-163c27b79f12.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2020.



PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. dos. Variações em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze associada a condições edafo-climáticas. **Scientia Florestalis**, v. 70, p. 137-148, 2006.

PYE, M. G.; GADEK, P. A. Genetic diversity, differentiation and conservation in *Araucaria bidwilli* (Araucariaceae), Australia's Bunya pine. **Conservation Genetics**, v. 5, p. 619-629, 2004.

REIS, M. S.; MONTAGNA, T.; MATTOS, A. G.; FILIPPON, S.; LADIO, A. H.; MARQUES, A. C.; ZECHINI, A. A.; PERONI, N.; MANTOVANI, A. Domesticated landscapes in Araucaria forests, Southern Brazil: A multispecies local conservation-by-use system. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 11, 2018.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p. (Flora Ilustrada Catarinense).

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, n. 28-30, p. 3-320, 1978.

RESENDE, L. V.; SOUSA, V. A. de; SILVA JUNIOR, O. B. da; GRATTAPAGLIA, D. Desenvolvimento de novos microssatélites em *Araucaria angustifolia* via redução de complexidade genômica e sequenciamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 3., 2014, Santos. **Anais [...]** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2014. p. 392.

RESENDE, M. D. V.; 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. 63-67, 2008.

RHOADS, A.; AU, K.F. PacBio Sequencing and its applications. **Genomics, Proteomics & Bioinformatics Mechanism and Performance**, v. 13, n. 5, p. 278-289, 2015.

ROGGE-RENNER, G. D.; STEINER, N.; SCHMIDT, É. C.; BOUZON, Z. L.; FARIAS, F. L.; GUERRA, M. P. Structural and component characterization of meristem cells in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze zygotic embryo. **Protoplasma**, v. 250, p. 731-739, 2013.

ROGGE-RENNER, G. D.; STEINER, N.; SCHMIDT, É. C.; GUERRA, M. P.; BOUZON, Z. L.; FARIAS, F. L.; ORTIZ, J. Ontogenia de megaestróbilos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae). **Acta Biologica Catarina**, v. 2, p. 0-41, 2017.

ROQUE, R. H. **Effects of selective logging on genetic diversity of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze**. 2019. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Unicentro, Irati.

ROSS, S. D. Long term cone production and growth responses to crown management and gibberellin A 4/7 treatment in a young western hemlock seed orchard. **New Forests**, v. 3, n. 3, p. 235-245, 1989.

SALGUEIRO, F.; CARON, H.; SOUZA, M. I. F.; KREMER, A.; MARGIS, R. Characterization of nuclear microsatellite loci in South American Araucariaceae species. **Molecular Ecology Notes**, v. 5, n. 2, p. 256-258, 2005.

SALOIO, N. R.; VIEIRA, E. S. N.; FRIZZO, C. Criopreservação de embriões de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 12., 2013, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. (Embrapa Florestas. Documentos, 253).

SANT'ANNA, C. S. **Diversidade genética, estrutura genética espacial e dispersão realizada de pólen e sementes em uma população contínua de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no planalto norte de Santa Catarina**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANT'ANNA, C. S.; SEBBENN, A. M.; KLABUNDE, G. H.; BITTENCOURT, R.; NODARI, R. O.; MANTOVANI, A.; DOS REIS, M. S. Realized pollen and seed dispersal within a continuous population of the dioecious coniferous Brazilian pine [*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze]. **Conservation Genetics**, v. 14, n. 3, p. 601-613, 2013.

SANTOS, A. L. W.; SILVEIRA, V.; STEINER, N.; VIDOR, M.; GUERRA, M. P. Somatic embryogenesis in Parana Pine *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Brazilian Archives Biology Technology**, v. 45, p. 97-106, 2002.

SARMAST, M. K.; SALEHI, H.; KHOSH-KHUI, M. Micropropagation of *Araucaria excelsa* R. Br. var. *glauca* Carrière from orthotropic stem explants. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 18, p. 265-271, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0115-9>.



- SCHADT, E. E.; TURNER, S.; KASARSKIS, A. A window into third-generation sequencing. **Human Molecular Genetics**, v. 19, n. R2, p. R227-R240, 2010.
- SCHMIDTLING, R. C. Influence of interstock on flowering and growth of loblolly pine grafts. **Forest Service, Tree Planter's Notes**, v. 34, n. 1, 1983.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; FREITAS, S. A.; FREITAS, J. A. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 16, n. 2, p. 91-99, 2004.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Genetic variation in provenance-progeny test of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in São Paulo, Brasil. **Silvae Genetica**, v. 52, n. 5-6, p. 181-184, 2003a.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANNOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 15, p. 109-12, 2003b.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética entre e dentro de procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 15, n. 2, p. 109-124, 2003c.
- SEHGAL, L.; SEHGAL, O. P.; KHOSLA, P. K. Micropropagation of *Araucaria columnaris* Hook. **Annales des Sciences Forestières**, v. 46, p. 158-160, 1989.
- SETOGUCHI, H.; ASAKAWA OSAWA, T.; PINTAUD, J. C.; JAFFRÉ, T.; VEILLON, J. M. Phylogenetic relationships within Araucariaceae based on rbcL gene sequences. **American Journal of Botany**, v. 85, n. 11, p. 1507-1516, 1998.
- SEXTON, J. P.; MCINTYRE, P. J.; ANGERT, A. L.; RICE, K. J. Evolution and ecology of species range limits. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 40, p. 415-436, 2009.
- SHIBATA, M.; COELHO, C. M. M.; STEINER, N. Physiological quality of *Araucaria angustifolia* seeds at different stages of development. **Seed Science Technology**, v. 41, n. 2, p. 214-224, 2013.
- SHIMIZU, J.; HIGA, A. R. Variação genética entre procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, na região de Itapeva, estimada até o sexto ano de idade. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p. 78-82.
- SHIMIZU, J. Y. Estratégia complementar para conservação de espécies florestais nativas: resgate e conservação de ecótipos ameaçados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 54, p. 7-35, 2007.
- SHIMIZU, J. Y.; JAEGER, P.; SOPCHAKI, S. A. Variabilidade genética em uma população remanescente de Araucária no Parque Nacional do Iguaçu, Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 41, p. 18-36, 2000.
- SHIMIZU, J. Y.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Distribuição, variação e usos dos recursos genéticos da Araucaria no Sul do Brasil**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. 9 p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 4).
- SHIMIZU, J. Y. Variação entre procedências de Araucária em Ribeirão Branco (SP) aos vinte e três anos de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 38, p. 89-102, 1999.
- SHIMOYA, C. Contribuição ao estudo do ciclo biológico de *Araucaria angustifolia* (Bertolini) O. Kte. **Experientiae**, v. 2, p. 520- 540, 1962.
- SILVA, C. V. D.; REIS, M. S. D. Produção de pinhão na região de Caçador, SC: aspectos da obtenção e sua importância para comunidades locais. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 363-374, 2009.
- SILVA, E. C. B. D. **Estimativas de herdabilidades em populações naturais contínuas e fragmentadas de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze**. 2014. 64 f. Dissertação (Mestrado em sistema de produção) - Universidade Estadual Paulista de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- SILVA, E. C. B.; KUBOTA, T. Y. K.; DE MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Coeficientes de herdabilidade e de parentesco em um fragmento florestal de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze utilizando marcadores genéticos **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 147-153, 2015.



- SILVA, J. R. **Caracterização genética de áreas de produção de sementes de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Ktze para produção de pinhão e madeira.** 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) - Universidade Estadual Paulista de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- SILVA, J. R.; SANTOS, W.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y.; MORAES, M. L. T.; AGUIAR, A. V. Seleção de procedências e progênes de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Kuntze para produção de madeira e pinhão. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 120, p. 519-531, 2018.
- SILVA, P. I. T.; SILVA-JUNIOR, O. B.; RESENDE, L. V.; SOUSA, V. A.; AGUIAR, A. V.; GRATTAPAGLIA, D. A 3K Axiom SNP array from a transcriptome-wide SNP resource sheds new light on the genetic diversity and structure of the iconic subtropical conifer tree *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze. **Plos One**, v. 15, n. 8, p. 1-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230404>.
- SILVEIRA, V.; SANTA-CATARINA, C.; TUN, N. N.; SCHERER, G. F. E.; HANDRO, W.; GUERRA, M. P.; FLOH, E. I. S. Polyamine effects on the endogenous polyamine contents, nitric oxide release, growth and differentiation of embryogenic suspension cultures of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Plant Science**, v. 171, p. 91-98, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.02.015>.
- SILVEIRA, V.; SANTOS, A. L. W.; STEINER, N.; GUERRA, M. P. Fatores associados a indução da poliembriogênese somática em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 11, supl., p. 66-67, 1999.
- SILVEIRA, V.; STEINER, N.; SANTOS, A. L. W.; NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. Biotechnology tools in *Araucaria angustifolia* conservation and improvement: inductive factors affecting somatic embryogenesis. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, p. 463-470, 2002.
- SINCLAIR, J. P.; EMLÉN, J.; FREEMAN, D. C. Biased sex ratios in plants: theory and trends. **Botanical Review**, v. 78, n. 1, p. 66-86, 2012.
- SOLÓRZANO-FILHO, J. A. **Demografia e ecologia da dispersão de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão, SP.** 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SOUSA-LANG, V. A.; PINTO JUNIOR, J. E. Efeito da concentração de agar na germinação in vitro do pólen de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 34, p. 45-5, 1997.
- SOUSA-LANG, V. A.; PINTO JUNIOR, J. E. Efeitos de diferentes açúcares na germinação do pólen de *Araucaria angustifolia*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 7, p. 3-7, 1996.
- SOUSA, V. A. de; AGUIAR, A. V. de. **Programa de melhoramento genético de araucária da Embrapa Florestas: situação atual e perspectivas.** Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 17 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 237).
- SOUSA, V. A. de; CHAVES NETO, A.; SHIMIZU, J. Y.; VALGAS, R. A.; LAVORANTI, O. J. Genetic differentiation among *Araucaria* populations in Brazil. In: CONGRESSO FORESTAL MUNDIAL, 13., 2009, Buenos Aires. **Desarrollo forestal: equilibrio vital.** Argentina: FAO, 2009. Resumo.
- SOUSA, V. A. de; HATTEMER, H. H. Genetic variation in natural populations of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in Brazil. In: MULLER-STARCK, G.; SCHUBERT, R. (ed.). **Genetic response of forest systems to changing environmental conditions.** Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 2001. p. 93-103 (Forestry sciences, 70).
- SOUSA, V. A. (ed.). **Cultivo da Araucária.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. (Embrapa Florestas. Sistema de produção, 7). Disponível em: https://www.spo.cnpqia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_de_producao_lf6_1_galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3505&p_r_p_-996514994_topicoId=2851.
- SOUSA, V. A.; GUIMARÃES, G.; TOMIGIAN, D.; DE AGUIAR, A. V. *Araucaria angustifolia* pollen handling and germination. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 2019, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas. v. 39, p. 51, 2019.
- SOUSA, V. A.; HATTEMER, H. H. Fenologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia* no Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 47, p. 19-32, 2003a.
- SOUSA, V. A.; HATTEMER, H. H. Pollen dispersal and gene flow by pollen in *Araucaria angustifolia*. **Australian Journal of Botany**, v. 5, n. 3, p. 309-317, 2003b.



SOUSA, V. A.; MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. **Estudo ecológico e genético de *Araucaria angustifolia* como base para um programa de controle dos danos causados pelo macaco-prego aos plantios comerciais de *Pinus* spp.** 2010c. 10 f. Relatório de Projeto, não publicado.

SOUSA, V. A. **Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2001. 161 f. Thesis (PhD) - Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen., Germany.

SOUSA, V. A.; REEVES, P. A.; REILLEY, A.; DE AGUIAR, A. V.; STEFENON, V. M.; RICHARDS, C. M. Genetic diversity and biogeographic determinants of population structure in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Conservation Genetics**, p.1-13, 2020.

SOUSA, V. A.; ROBINSON, I. P.; HATTEMER, H. H. Variation and population structure at enzyme gene loci in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Silvae Genetica**, v. 5, n. 1-6, p.12-19, 2004.

SOUSA, V. A.; SCHEMBERG, E. A.; AGUIAR, A. V. Germinação *in vitro* de pólen de jerivá (*Syagrus romanzoffii* ana (S.) Cham). **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 86, p. 147-151, 2010a.

SOUSA, V. A.; SEBBENN, A. M.; HATTEMER, H. H.; ZIEHE, M. Correlated mating in populations of a dioecious Brazilian conifer, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Forest Genetics**, v. 1, n. 2, p. 107, 2005.

SOUZA, M. I. F.; SALGUEIRO, F.; BOTTINO, M. C.; FÉLIX, D. B.; FERREIRA, M. A.; BITTENCOURT, J. V.; MARGIS, R. Patterns of genetic diversity in southern and southeastern *Araucaria angustifolia* (Bert.). O. Kuntze relict populations. **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, n. 3, p. 546-556, 2009.

SPRAGUE, J. R.; JOHNSON, V.W. Extraction and storage of loblolly pine (*Pinus taeda*) pollen. In: SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT CONFERENCE, 14., 1977, Macon. [**Proceedings...**]. Macon: Eastern Tree Seed, 1977. p. 20-27.

STEFENON, V. M.; BEHLING, H.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Evidences of delayed size recovery in *Araucaria angustifolia* populations after post-glacial colonization of highlands in Southeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, p. 433-443, 2008a.

STEFENON, V. M. Brazilian pine: Genetic studies for the management of the forests and the threats. In: FRISIRAS, C. H. **Pine forests: types, threats and management**, p 1-22. 2011.

STEFENON, V. M.; CAPRESTANO, C. A. Monoicy in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae): I. Morphological aspects of the reproductive structures. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, n. 4, p. 701-705, 2009.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Genetic structure of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) populations in Brazil: Implications for the ex situ conservation of genetic resources. **Plant Biology**, v. 9, p. 516-525, 2008b.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Genetic structure of plantations and the conservation of genetic resources of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*). **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2718-2725, 2008c.

STEFENON, V. M.; KLABUNDE, G.; LEMOS, R. P. M.; ROGALSKI, M.; NODARI, R. O. Phylogeography of plastid DNA sequences suggests post-glacial southward demographic expansion and the existence of several glacial refugia for *Araucaria angustifolia*. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, 2752, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39308-w>.

STEFENON, V. M.; MARQUES-PINHEIRO, M.; GOETEN, D.; REE, J. F.; STEINER, N.; GUERRA, M. P. Advances and constraints in somatic embryogenesis of *Araucaria angustifolia*, *Acca sellowiana* and *Bactris gasipaes*. **Plant Cell Tissue And Organ Culture**, v. 143, p. 241-263, 2020.

STEFENON, V. M.; NODARI, R. O.; REIS, M. S. Padronização de protocolo AFLP e sua capacidade informativa para análise da diversidade genética em *Araucaria angustifolia*. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 63-171, 2003.

STEFENON, V. M.; STEINER, N.; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. Integrating approaches towards the conservation of forest genetic resources: a case study of *Araucaria angustifolia*. **Biodiversity Conservation**, v.18, p. 2433-2448, 2009.



STEINER, N.; FARIAS-SOARES, F. L.; SCHMIDT, É. C.; PEREIRA, M. L.; ROGGE-RENNER, G. D.; BOUZON, Z. L.; SCHMITZ, D.; MALDONADO, S.; GUERRA, M. P. Toward establishing a morphological and ultrastructural characterization of proembryogenic masses and early somatic embryos of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze.

Protoplasma, v. 253, p. 487-501, 2015.

STEINER, N.; HILL, L.; DORR, E.; WALTERS, C. Development of cryobiotechnologies to preserve zygotic embryo tissues of North American tree species. **Cryobiology**, v. 97, p. 281-282, 2020.

STEINER, N. **Parâmetros fisiológicos e bioquímicos durante a embriogênese zigótica e somática de *Araucaria angustifolia* Bert O. Kuntze**. 2005a. 136 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Florestais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

STEINER, N.; SANTA-CATARINA, C.; ANDRADE, J. B. R.; BALBUENA, T. S.; GUERRA, M. P.; HANDRO, W.; FLOH, E. I. S.; SILVEIRA, V. *Araucaria angustifolia* biotechnology. **Functional Plant Science and Biotechnology**, v. 2, p. 20-28, 2008.

STEINER, N.; SANTA-CATARINA, C.; GUERRA, M.P.; CUTRI, L.; DORNELAS, M.C.; FLOH, E.I. S.; A gymnosperm homolog of SOMATIC EMBRYOGENESIS RECEPTOR-LIKE KINASE-1 (SERK1) is expressed during somatic embryogenesis. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 109, p. 41-50, 2012.

STEINER, N.; SANTA-CATARINA, C.; SILVEIRA, V.; FLOH, E. I. S.; GUERRA, M. P. Polyamine effects on growth and endogenous hormones levels in *Araucaria angustifolia* embryogenic cultures. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, v. 89, p. 55-62, 2007.

STEINER, N.; VIEIRA, F. do N.; MALDONADO, S.; GUERRA, M. P. Carbon source affects morphogenesis and histodifferentiation of *A. angustifolia* embryogenic cultures. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 6, p. 895-903, 2005.

TAGLIARI, M. S. M. **Etnoecologia e estrutura populacional de *Araucaria angustifolia* (bert.) o. ktze no sul do Brasil**: subsídios de uso e manejo sustentável de recursos. 2013. 112 f. Trabalho de curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina em Ciências Biológicas, Florianópolis.

TELLA, J. L.; BLANCO, G.; DÉNES, F. V.; HIRALDO, F. Overlooked parrot seed dispersal in Australia and South America: insights on the evolution of dispersal syndromes and seed size in *Araucaria* trees. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, p. 82, 2019.

TESDORFF, H. Kreuzungsversuche mit *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch und *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) O. Ktze. **Forstgenetik Forsplanzenzuchtung**, v. 5, p. 79-84, 1956.

THOMAS, P. *Araucaria angustifolia*. In: THE IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T32975A2829141. 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>.

VALGAS, R. A.; CHAVES NETO, A.; LAVORANTI, O. J.; DE SOUSA, V. A. Cluster analysis applied in mapping the genetic divergence of populations of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze by isoenzymatic markers. In: WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND COMPUTERS IN BIOLOGY AND CHEMISTRY, 10., Prague, 2009. **Proceedings** [...]. Prague: World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS Press), 2009. p. 87-91.

VALGAS, R. A.; CHAVES NETO, A.; LAVORANTI, O. J.; DE SOUSA, V. A. Técnicas de Agrupamento Aplicadas no Mapeamento da Divergência Genética de Subpopulações de *Araucaria Agustifolia* (bert.) O. Ktze em Irati, PR e caçador, SC por marcadores Isoenzimáticos. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 2, p. 35-50, 2010.

VENCOVSKY, R.; CHAVES, L. J.; CROSSA, J. Variance effective population size for dioecious species. **Crop Science**, v. 52, n. 1, p. 79-90, 2012.

VIDAKOVIĆ, M. **Conifers: morphology and variation**. Croatia: Grafičko Zavod Hrlatskse; Oxon: CAB International, 1991. 755 p.

VIEIRA-DA-SILVA, C.; REIS, M. S. Produção de pinhão na região de Caçador, SC: aspectos da obtenção e sua importância para comunidades locais. **Ciência Floresta**, v. 19, p. 363-374, 2009. DOI: 10.5902/19805098892



VIEIRA, E. M.; IOB, G. Dispersão e predação de sementes da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: FONSECA, C. R.; SOUZA, A. F.; LEAL-ZANCHET, A. M.; DUTRA, T.; BACKES, A.; GANADO, G. **Floresta de Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 85-95.

VIEIRA, W. O reflexo da defaunação para uma espécie ameaçada: o caso da *Araucaria angustifolia* em paisagem de campo em Santa Catarina. 2017. 21 p. TCC de graduação (Graduação em Agronomia)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

VOIG, L., FRIZZO, C.; VIEIRA, E. S. N. Criopreservação de eixos embrionários de araucária por meio de encapsulamento/desidratação e V-crioplaca. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 16., 2017, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; HOFFMANN, H. A.; BETTIO, G.; HANSEL, F. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomia Costaricense**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 2009.

WENDLING, I. **Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia***. Colombo: Embrapa Florestas, 2011, 7 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 272).

WENDLING, I. **Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015, 7 p. (Embrapa Florestas, 2015, 7 p. (Comunicado Técnico, 351). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1017594>

WHEELER, N. C.; WAMPLE, R. L.; PHARIS, R. P. Promotion of flowering in the Pinaceae by gibberellins: IV. Seedlings and sexually mature grafts of lodgepole pine. **Physiologia Plantarum**, v. 50, n. 4, p. 340-346, 1980.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A.; SOUSA, L. P.; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V.; GOMES, J. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 7, p. 31-346, 2017.

WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; BRITZ, R. M.; GARRASTAZU, M. C.; DE SOUSA, V. A.; CARAMORI, P.; RADIN, H. B.; BRAGA, H. J. Climate change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Unasylya**, v. 60, p. 231-232, 2009.

YOUNG, A.; BOYLE T.; BROWN T. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. **Trends Ecology and Evolution**, v. 11, n. 10, p. 413-418, 1996.

ZANETTE, F.; OLIVEIRA, L. D. S.; BIASI, L. A. Grafting of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze through the four seasons of the year. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1364-1370, 2011.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por diócia**. 2007. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Proporção da diócia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze, em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 425- 431, 2009.

ZECHINI, A. A.; LAUTERJUNG, M. B.; CANDIDO-RIBEIRO, R.; MONTAGNA, T.; BERNARDI, A. P.; HOELTGEBAUM, M. P.; DOS REIS, M. S. Genetic conservation of brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) through traditional land use. **Economic Botany**, v. 72, n. 2, 166-179, 2018.

ZECHINI, A. A. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética: subsídios para conservação da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no planalto catarinense**. 2012. 193 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ZECHINI, A. A.; SCHUSSLER, G.; SILVA, J. Z.; MATTOS, A. G.; PERONI, N.; MONTOVANI, A.; REIS, M. S. Produção, comercialização e identificação de variedades de pinhão no entorno da Floresta Nacional de Três Barras – SC. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 74-82, 2012. DOI: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.275>.

ZIMIN, A.; STEVENS, K. A.; CREPEAU, M. W.; HOLTZ-MORRIS, A.; KORIBABINE, M.; MARÇAIS, G.; PUIU, M. R.; WEGRZYŃ, P. J.; PIETER, J. J.; NEALE, D. B.; SALZBERG, S. L.; YORKE, J. A.; LANGLEY, C. H. Sequencing and assembly of the 22-Gb loblolly pine genome. **Genetics**, v. 196, n. 3, p. 875-890, 2014.

ZHAO, P.; FAN, J. F.; ZHANG, S. X.; HUANG, Z. L.; YANG, P. H.; MA, Z. H.; WOESTE, K. E. Effects of gibberellin A 4/7, 6-benzylaminopurine and chlormequat chloride on the number of male and female strobili and immature cones in Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis*) with foliar sprays. **Journal of forestry Research**, v. 22, n. 3, p. 353-359, 2011.

ZONNEVELD, B. J. M. Genome sizes of 172 species, covering 64 out of the 67 genera, range from 8 to 72 picogram. **Nordic Journal Botany**, v. 30, p. 490-502, 2012a.

ZONNEVELD, B. J. M. Genome sizes of all 19 Araucaria species are correlated with their geographical distribution. **Plant Systematics and Evolution**, v. 298, n. 7, p. 1249-1255, 2012b.



10

Práticas de manejo e a regeneração natural de araucária

André Eduardo Biscaia de Lacerda
Denise Jeton Cardoso
Maria Augusta Doetzer Rosot
Marilice Cordeiro Garrastazú
Maria Izabel Radomski (in memoriam)
Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Introdução

Dentre os vários aspectos a serem compreendidos na avaliação da viabilidade de sobrevivência de uma população natural de uma espécie arbórea, os padrões de distribuição espaciais e temporais da regeneração espontânea são, sem dúvida, um dos mais importantes, pois auxiliam na definição de práticas de manejo que comumente se fazem necessárias. No caso específico da araucária, autores diversos têm discutido uma suposta problemática relacionada à incapacidade da espécie em se regenerar em ambientes florestais, mas, claramente, sem haver consenso. Afastando-se do foco da conservação de florestas primárias ou pouco degradadas, neste capítulo são apresentados resultados que auxiliam no entendimento da capacidade reprodutiva da araucária em áreas produtivas e integradas ao componente florestal. Pretende-se, desta forma, que se aprofunde o entendimento da relação existente entre o uso da terra e a manutenção das florestas, desmitificando a noção da incompatibilidade entre conservação e o manejo florestal.

Variados trabalhos apresentaram uma visão geral de ausência ou insuficiência de regenerantes (plantas com até 1,30 m de altura) de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em florestas naturais, cuja estrutura e diversidade presentes são entendidas como fruto de baixos níveis relativos de degradação (ex. Klein, 1960, 1975; Caldato et al., 1996; Duarte; Dillenburg, 2000; Backes, 2001; Duarte et al., 2002). Por outro lado, quando o aspecto regenerativo da araucária é abordado, em florestas submetidas a maiores intervenções ou secundárias em estágios variados de sucessão, há indicativos de que os níveis de regenerantes são notavelmente superiores aos encontrados em florestas pouco degradadas (ex. Sampaio; Guarino, 2007; Souza et al., 2008).

Possivelmente, o foco na avaliação da regeneração em florestas primárias se deve à preocupação quanto à redução expressiva da cobertura florestal nos estados do Sul do Brasil e seus reflexos na manutenção de fragmentos viáveis da Floresta Ombrófila Mista. Este mesmo processo de redução acentuada das florestas naturais culminou com a Resolução nº 278 (Brasil, 2001), que estabeleceu regras para o corte de espécies em extinção, em florestas naturais, incluindo a araucária; adicionalmente, a espécie passou a integrar a lista de espécies ameaçadas de extinção.

Em que pesem os prováveis reflexos da legislação florestal na manutenção de fragmentos remanescentes e o aumento acentuado de áreas florestais secundárias, é inegável a criação de certo antagonismo frente aos proprietários rurais. Neste contexto, é frequente o entendimento que os proprietários são reticentes em permitir a regeneração de espécies florestais e, em especial, da araucária, por conta das restrições legais para o uso posterior da terra. Não raro se ouve sobre a prática corriqueira da remoção de regenerantes da araucária em pastagens ou bordas de florestas. O manejo de florestas naturais com araucária é restrito a um pequeno número de espécies, como a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) para lenha, e produtos florestais não madeireiros, como a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.Hil.), plantas medicinais e ornamentais, bagas e pinhões (Santos; Müller, 2006).

O alto valor da madeira de araucária, considerando que um metro cúbico de árvore em pé com DAP (diâmetro à altura do peito, por convenção a 1,3 m de altura) superior a 40 cm pode atingir um preço de US\$ 100,00 (Dorneles, 2012), assim como os diversos usos finais da espécie, confirmam seu potencial econômico (Pinto, 2009). Também poderia ser útil em programas de restauração de áreas degradadas, considerando que o estabelecimento de plantações facilita a regeneração florestal em pastagens mais rapidamente que a sucessão natural (Zanne; Chapman, 2001). Além disso, como espécie florestal dominante no Sul do Brasil, desempenha um papel significativo nas comunidades rurais; suas sementes são consumidas tanto por seres humanos como por animais, representando uma importante fonte de alimento durante o inverno (Stefenon et al., 2007); e a



colheita e venda de sementes fornecem uma renda extra para os pequenos agricultores. Embora a araucária apresente madeira de qualidade superior em comparação com espécies introduzidas de rápido crescimento comumente usadas tais como *Pinus* e *Eucalyptus*, a espécie continua a ser um recurso pouco explorado, pois há um interesse limitado em estabelecer plantações de araucária e em conduzir árvores sob regeneração natural.

As pequenas propriedades rurais do Sul do Brasil têm participação importante no processo de regeneração da araucária e, como tal, devem ter suas áreas avaliadas para melhor compreensão sobre o assunto, pois representam a maioria dos fragmentos florestais em áreas de Floresta Ombrófila Mista. Sob este olhar, neste capítulo aborda-se a capacidade regenerativa da araucária submetida a diferentes sistemas de manejo em comparação à estrutura observada em uma floresta natural, em estágio avançado de regeneração e sem manejo. Não se trata de um experimento e sim, de um relato de diferentes experiências.

Floresta em estágio inicial de sucessão

A ocorrência do processo de regeneração de araucária foi avaliada na Estação Experimental da Embrapa em Caçador (EEEC), Santa Catarina, em florestas jovens dominadas por indivíduos arbóreos de espécies pioneiras e cujo sub-bosque é dominado por densas populações de taquara (*Merostachys skvortzovii*). A avaliação ocorreu via monitoramento anual da regeneração natural (plântulas a partir de 10 cm até 1,30 m de altura) em 20 parcelas de 15 m x 15 m, entre 2007 e 2018, em floresta sem nenhum manejo (controle), e também em seis parcelas de mesmas dimensões, entre 2010 e 2018, no mesmo tipo florestal, mas submetida à remoção de taquaras (remoção). As parcelas “remoção” foram instaladas ao lado de um “controle” com separação entre 5 m e 10 m, para evitar interferência mútua.

Durante o monitoramento da regeneração em parcelas controle, em um período de dez anos, detectou-se a ocorrência de apenas um indivíduo regenerante de araucária, embora este tenha sobrevivido por apenas um ano, alcançando altura máxima de 20 cm apenas. A partir do período de dispersão de sementes (pinhões), pôde-se ainda observar a ocorrência de plântulas, as quais não sobreviviam a ponto de chegar ao limite mínimo de inclusão e, ou até as medições do ano posterior. É relevante notar que a ausência de regenerantes não é exclusiva da araucária (Figura 1A), tendo sido observada uma abundância generalizada de plântulas de espécies arbóreas em áreas dominadas por taquaras e provável permanência indefinida destas florestas com baixa diversidade, em estágios sucessionais iniciais, como indicado por Kellermann e Lacerda (2017). Por outro lado, nas áreas mantidas sem taquaras observou-se a ocorrência de três regenerantes de araucária (Figura 1B) que, com desenvolvimento contínuo, alcançaram alturas entre 1,6 m e 2 m de altura em 2018, já sendo consideradas como adultas segundo critérios de monitoramento da regeneração. Apesar do sucesso na germinação e crescimento, a ocorrência de regeneração foi observada em apenas uma parcela dentre seis.

Os resultados do monitoramento da regeneração levaram a uma avaliação da distribuição espacial de indivíduos reprodutivos de araucária nas imediações das parcelas. Constatou-se que cinco parcelas (duas remoção e três controle) possuíam indivíduos adultos até um raio de 30 m de distância, outras sete (três remoção e quatro controle) possuíam adultos a uma distância de aproximadamente 75 m, enquanto nas demais parcelas as araucárias reprodutivas estavam ao menos a 100 m de distância.



Fotos: André Eduardo Biscaini de Lacerda

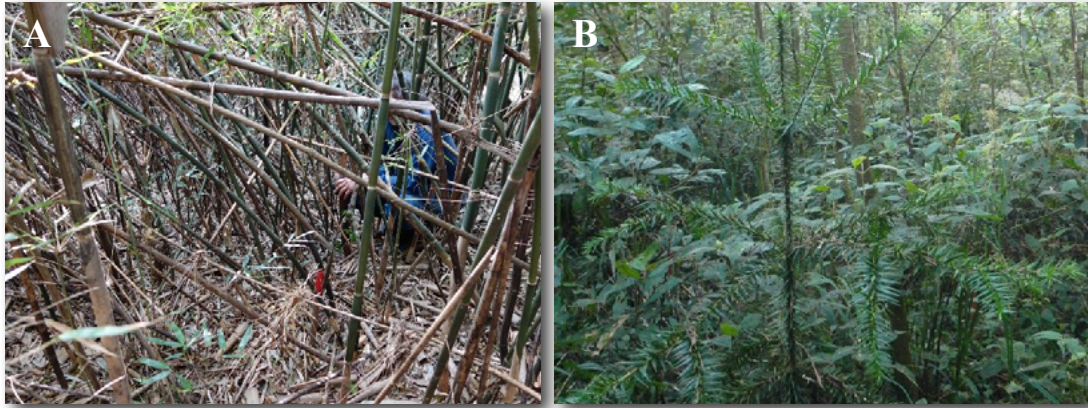


Figura 1. Interior de bracatingal com dominância de taquaras no sub-bosque e ausência quase completa de regeneração natural de espécies arbóreas (A); interior de bracatingal sem a presença de taquaras com regeneração natural de araucária (primeiro plano) (B).

Considera-se que tais resultados são um indicativo do potencial de regeneração da araucária em florestas jovens, assim como do efeito supressivo à regeneração natural por conta da dominância do sub-bosque pelas taquaras, e que merece avaliações específicas. Nesse sentido, o sucesso da regeneração está condicionado não apenas à remoção de taquaras do sub-bosque, criando condições lumínicas adequadas, mas, também, pela presença de indivíduos reprodutivos de araucária nas imediações, como descrito por Bittencourt e Sebbenn (2007).

Pode-se, empiricamente, inferir pelas observações de campo que as taxas de germinação são maiores que o número de regenerantes (plantas jovens ou árvores pequenas de até 1,30 m de altura), tendo em vista a observação de germinação nos meses posteriores às avaliações mencionadas anteriormente. Contribui para isto, o fato de que a dispersão de sementes de araucária se dá, principalmente, entre abril e maio, dispondo-se, portanto, de apenas três meses, aproximadamente, para que tais sementes germinem e as plântulas cresçam acima do valor mínimo de inclusão (altura > 10 cm), até a data do monitoramento da regeneração, que ocorre normalmente em julho e agosto. Mudanças em viveiro demoram seis meses para alcançar entre 15 cm e 20 cm de altura, em média (Carvalho, 2002), o que deve ocorrer também em seu ambiente natural, dependendo das condições lumínicas.

Finalmente, a população adulta florestal também foi monitorada nas mesmas parcelas, onde, assim como no caso da regeneração natural, não foram observados indivíduos de araucária nas parcelas com presença de taquaras, mas apenas três indivíduos oriundos de regeneração natural que passaram à categoria adulta durante o período de monitoramento. A ausência de araucárias jovens indica que a inexistência de regeneração suficiente para manter a quantidade de indivíduos de araucária em todas as classes de diâmetro, em especial de diâmetros inferiores a 10 cm, é um processo de longo prazo, tendo ocorrido em período mais longo que o do próprio monitoramento, atualmente de onze anos.



Floresta em estágio médio de sucessão

Fragmentos florestais no entorno da Estação Experimental da Embrapa, em Caçador

As florestas em estágio médio (arbóreo) de sucessão ecológica foram avaliadas por meio de levantamento em 17 fragmentos florestais localizados no entorno da Estação Experimental da Embrapa, em Caçador (EEEC), e cujos resultados gerais foram descritos por Lacerda (2016). Nos próximos parágrafos, os mesmos resultados foram reavaliados, enfatizando a participação da araucária na estrutura dos fragmentos florestais estudados. Diferentemente do uso da terra observado na EEEC no passado - restrito à exploração madeireira histórica e, em grande parte, com o corte seletivo de espécies de alto valor comercial, como *A. angustifolia* e *Ocotea porosa* (imbuia), a paisagem em seu entorno é caracterizada pelo uso antrópico com o predomínio de povoamentos comerciais de *Pinus* spp., e por cultivos agrícolas e fragmentos florestais, ambos típicos das propriedades da agricultura familiar. As propriedades rurais no entorno da EEEC apresentam manejo intensivo da terra, e os fragmentos florestais normalmente são parte da atividade da pecuária extensiva, com o uso de espécies não madeireiras, incluindo o cultivo da erva-mate.

Os 17 fragmentos florestais localizados no entorno da EEEC tiveram sua diversidade e estrutura avaliadas de forma comparativa com as Florestas com Araucária na EEEC (divididas em áreas com e sem dominância de araucária). Lacerda (2016) considerou que, nos fragmentos, a diversidade geral é relativamente alta, e ocorre uma quantidade importante de espécies presentes em diferentes tipos florestais, demonstrando sua importância para a conservação da diversidade em nível de paisagem. Quanto à estrutura populacional, os fragmentos do entorno registraram quantidade de árvores por hectare, significativamente superior àquela encontrada nas áreas com araucária da EEEC, enquanto a área basal registrada foi quase idêntica entre fragmentos e florestas sem a presença de araucária como espécie dominante, mas inferior àquela calculada para florestas com dominância de araucárias. Tais resultados mostram que os fragmentos possuem uma distribuição de indivíduos exponencial negativa (“J invertido”; Liocourt 1898), típica de florestas tidas como em equilíbrio, enquanto nas áreas na EEEC há concentração de indivíduos de dimensões superiores e poucos indivíduos nas classes diamétricas inferiores.

Especificamente quanto à araucária, observou-se sua presença em dez fragmentos do entorno da EEEC, com uma densidade de 34 árvores por hectare, em média. Nestes fragmentos a presença da espécie não estava restrita às classes superiores, havendo indivíduos regenerantes (altura < 1,30 m) em quantidade próxima ao total de indivíduos das classes superiores (altura > 1,30 m; Figura 2). Embora não tenham sido observados indivíduos em todas as classes em cada um dos fragmentos, a ocorrência de quantidade significativa de indivíduos regenerantes e jovens, cujas distâncias entre si são menores que o limite máximo de polinização da araucária (< 5 km; Medina-Macedo et al., 2016), permite presumir a existência de níveis de conectividade estrutural e funcional suficientes para manter certa reprodução da espécie. Ainda, é relevante o fato que vários fragmentos florestais, onde há ausência de regeneração da araucária, têm seu sub-bosque dominado por taquaras, assim como descrito no item sobre floresta em estágio inicial de sucessão, e necessitam de intervenção ativa, via manejo florestal, para a recuperação de sua estrutura, diversidade e capacidade produtiva.



Foto: André Eduardo Biscaia de Lacerda

Figura 2. Interior de fragmento florestal no entorno da EEEC, com destaque para indivíduos jovens de araucária em distintas fases de desenvolvimento.

Propriedade em Bituruna, PR

No município de Bituruna, localizado na região sul do estado do Paraná a condução de florestas com araucária, para geração de produtos não madeireiros, em meio a plantios de erva-mate e pastagem, é prática comum nas propriedades rurais. Tal uso se dá no contexto histórico de ocupação de regiões menos aptas para a prática da agricultura intensiva, nas quais importantes áreas de florestas foram preservadas, especialmente no centro-sul do Paraná e norte de Santa Catarina. Nestas regiões predominam atividades tradicionais como o cultivo de espécies agrícolas para o autossustento, a extração da erva-mate e o pastoreio sob cobertura florestal, típico de comunidades tradicionais como a dos faxinais no Paraná e as caívas em Santa Catarina. Como resultado deste tipo de ocupação, os sistemas tradicionais desenvolvidos pelas comunidades locais têm garantido a presença dos remanescentes de Floresta com Araucária na região, ao contrário do restante do Paraná, onde a agricultura intensiva foi um dos principais indutores do desmatamento.

Uma avaliação em uma dessas propriedades mostrou que, em locais onde a Floresta com Araucária foi conduzida em meio a ervais nativos e plantados, com roçada eventual e criação de gado, ocorreram 12,8% de indivíduos de araucária entre árvores de 44 espécies, em um total de 3.928 indivíduos por hectare. Trata-se de uma floresta secundária onde a densidade de indivíduos arbóreos está concentrada nas classes diamétricas inferiores, especialmente na classe até 5 cm de DAP (Figura 3B); nesta classe, a participação de indivíduos de araucária é de apenas 2% (56 ind. ha⁻¹). Nas classes de DAP até 40 cm, a representatividade da araucária é crescente, sendo de 20% (106 ind. ha⁻¹) na classe 5-10 cm, de 57% (22 ind. ha⁻¹) na classe 25-30 cm, e alcançando 86% na classe 35-40 cm (33 ind. ha⁻¹) (Figura 3A). No intervalo diamétrico de 5-40 cm a araucária possui densidade de 361 indivíduos por hectare. Nas demais classes diamétricas (entre 40 cm e 70 cm) todas as árvores eram araucárias, embora com densidade menor comparativamente às classes anteriores (90 ind. ha⁻¹) (Figura 3C).

A ocorrência de indivíduos nas variadas classes diamétricas demonstra o cuidado do proprietário em manter populações viáveis das espécies florestais e confirma a possibilidade de se conduzir uma floresta secundária com árvores de araucária de diferentes idades. A tradição no uso dos recursos florestais pelos proprietários rurais familiares na área de ocorrência da Floresta com Araucária no Sul do Brasil traz um significativo entendimento da biodiversidade e da ecologia da região, pois, por meio de suas práticas tradicionais de manejo da floresta, tem viabilizado o uso e

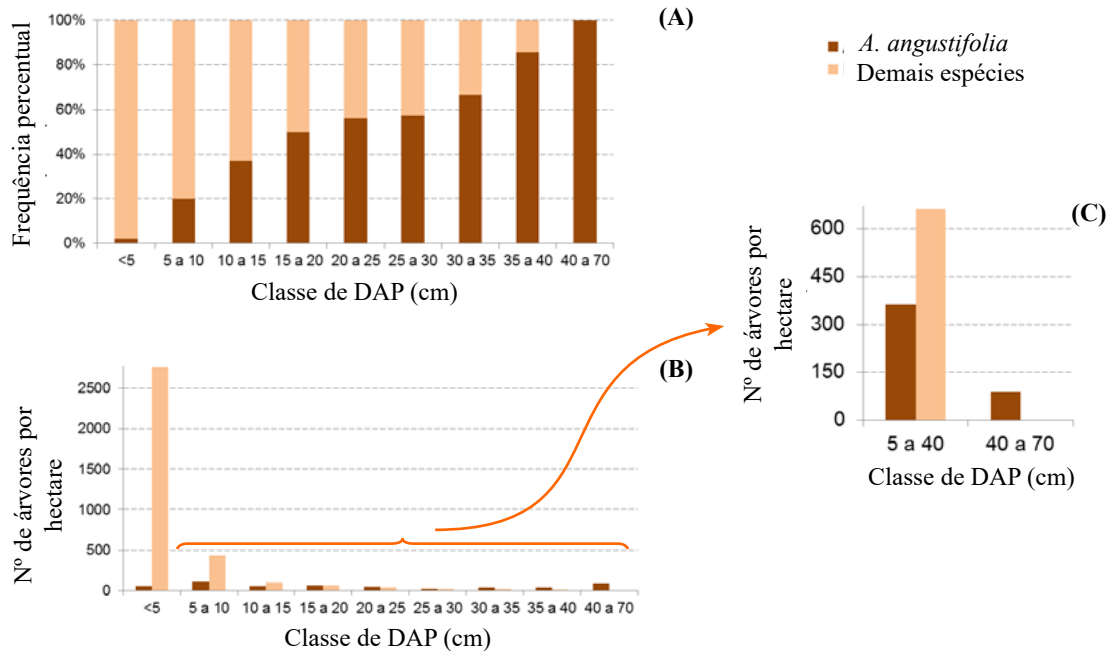


Figura 3. Frequência percentual (A) e número de árvores de araucária por hectare e demais espécies por classe de DAP (B) (C), na propriedade avaliada em Bituruna, PR.

conservação dessa tipologia florestal. Os produtores rurais que mantêm sistemas tradicionais de produção de erva-mate têm, portanto, o potencial de serem agentes fundamentais no desenvolvimento de sistemas de manejo florestal sustentável, sendo a araucária uma das espécies com maior potencial produtivo.

Propriedade em Caçador, SC

Em uma propriedade particular analisada em Caçador, a floresta secundária é conduzida para criação de animais. A floresta de dossel mais denso é entremeada com floresta aberta, às margens das estradas da propriedade, onde ocorre intensa regeneração de espécies arbóreas. Periodicamente, ocorrem roçadas da pastagem, com o cuidado de manter as mudas de espécies arbóreas regenerantes. Medições em cinco parcelas de 600 m² nesta área indicaram a ocorrência de 47 espécies, predominando a araucária (Figura 4), cuja ocorrência corresponde a cerca de 48% das árvores e mudas com altura superior a 1,30 m. A amplitude de DAP destas árvores variou de menos de 5 cm a mais de 55 cm, e para DAP maior que 5 cm, a frequência de árvores de araucária foi sempre maior ou muito similar à verificada para todas as demais espécies, em cada classe (Figura 5). Além disso, a distribuição de frequência de indivíduos por classe de diâmetro tem forma de “J” invertido, a mesma observada para as demais espécies.

Os percentuais de ocorrência de araucária oscilaram entre 40% e 80%, não havendo uma tendência crescente de representatividade da espécie com o aumento do DAP, como aquela verificada em Bituruna, PR. Deste resultado, chama a atenção a intensa regeneração da espécie, sobrevivendo em meio a árvores adultas, em uma situação em que ocorre o corte da pastagem e vegetação herbácea e arbustiva, o que gerou condições de espaço e luminosidade para o seu pleno desenvolvimento. Composto, ainda, a diversidade florestal, destacam-se: *Cinnamodendron dinisii*, *Sapium glandulatum*, *Ocotea porosa*, *Myrceugenia acrophylla* e *Myrceugenia euosma*.



Figura 4. Vista de uma das parcelas na propriedade avaliada em Caçador, contendo árvores de araucária de diversos diâmetros.

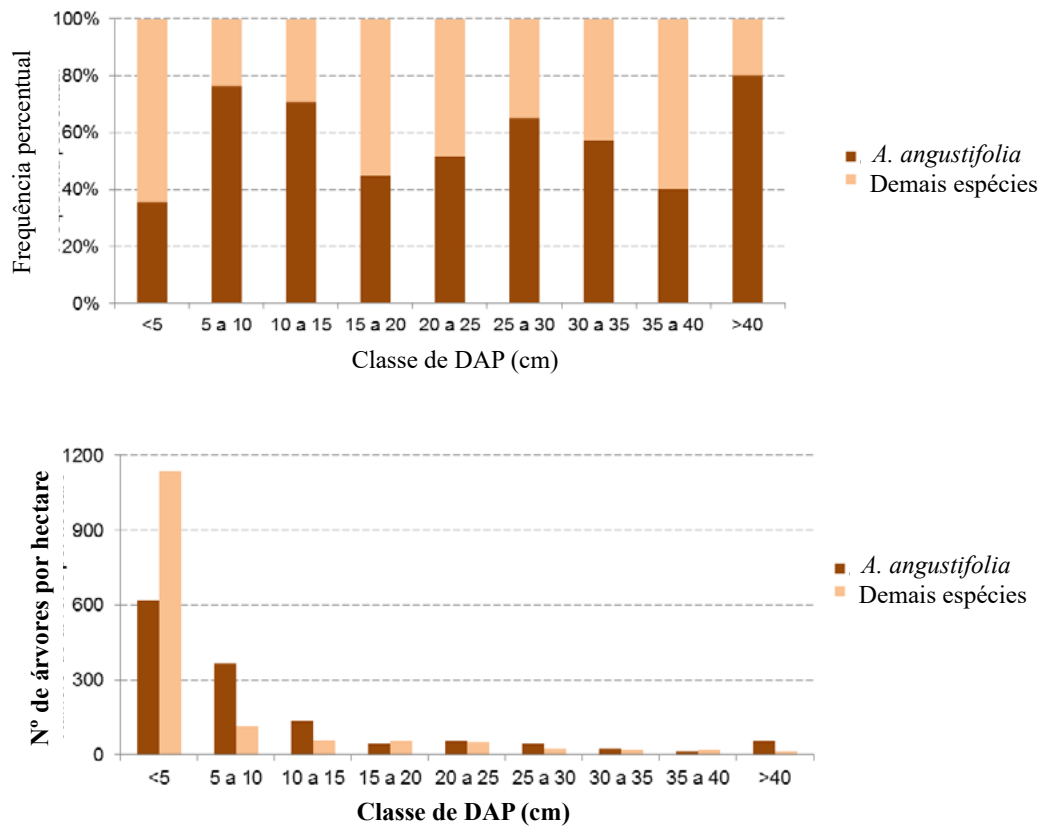


Figura 5. Frequência percentual e número de árvores por hectare de araucária e demais espécies por classe de DAP, na propriedade avaliada em Caçador, SC.

No estrato representado por plantas de espécies arbóreas, com altura inferior a 1,30 m, em parcelas de 4 m² (Figura 6), foi quantificado um total 32.667 plantas por hectare, indicando intensa regeneração. Deste total, as mudas de araucária corresponderam a 6,8% (2.222 plantas por hectare), com altura média de 0,48 m. Ainda que poucas destas venham a alcançar a idade adulta, devido à competição por espaço, a regeneração ocorreu de maneira intensa, provavelmente devido às condições de luminosidade favoráveis para o desenvolvimento inicial e à ausência de predação de plântulas pela fauna, até o momento do levantamento.

Foto: Marilice Cordeiro Garrastazú



Figura 6. Instalação de parcelas para avaliação da regeneração natural.

Floresta em estágio avançado de sucessão

Floresta na Estação Experimental da Embrapa em Caçador (EEEC)

A estrutura e composição da Floresta Ombrófila Mista de tipologia típica encontrada em parte da EEEC e seus resultados corroboram evidências históricas orais e vestígios de exploração madeireira seletiva, indicando tratar-se de uma floresta secundária, embora seja normalmente considerada como remanescente representativo das condições originais deste tipo florestal. Em algumas situações, vegetação primária e estágio avançado de sucessão podem se confundir baseando-se na definição encontrada em Brasil (1993), conforme comentado por Maran (2016), em estudo conduzido na EEEC, principalmente em função da presença de um dossel fechado, uniforme e diverso.

Assim como ocorre nas formações típicas da Floresta Ombrófila Mista, na EEEC há diversidade relativa com destacada participação da araucária em sua estrutura. Especificamente, devido às grandes dimensões, a espécie possui 38% da área basal da floresta ($14,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) concentrada em apenas 7% da densidade, ou 35 árvores ha^{-1} , segundo Rivera (2007). Outros trabalhos realizados na mesma área encontraram valores diversos como aqueles apresentados por Lingner et al. (2007), onde a araucária representou 32% da área basal total com $31,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, enquanto no levantamento de Beckert et al. (2014), realizado entre os anos de 2004 e 2012, a área basal variou de $69 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ a $57 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ entre a primeira e a última medição, o que representou aproximadamente 69%.

Os diferentes resultados entre tais estudos são explicados por variações metodológicas que incluem diferentes padrões quanto ao diâmetro mínimo de inclusão, assim como na definição dos locais de amostragem, sendo aleatório no primeiro trabalho e priorizando áreas em melhor estado de conservação nas demais pesquisas. Embora os trabalhos supramencionados contenham informações limitadas sobre a ocorrência de indivíduos de araucária de menores dimensões, Rivera (2007) observou dentre 67 árvores da espécie, apenas cinco com alturas inferiores a 10 m (mínimo de 8 m) e DAP entre 10,7 cm e 16,1 cm.

Como forma de avaliar as possíveis causas para a observada ausência de indivíduos jovens e regeneração natural de araucária, e tendo em vista as observações descritas por Kellermann e Lacerda (2017) sobre a presença de populações de bambus nativos em agrupamentos de alta

densidade com reflexos na dinâmica florestal, foram utilizados dados dos componentes de regeneração e de adultos em complementaridade aos dados dos referidos autores.

O monitoramento da regeneração natural, tanto em áreas de floresta primária com a presença de agrupamentos de taquara quanto em locais sem tal ocupação, mostrou uma quase total ausência de regenerantes de araucária. Em nove parcelas (15 m x 15 m) nas quais pôde-se observar a presença de taquaras, apenas quatro regenerantes de araucária foram registrados em um período de onze anos (2007 a 2018). Destes, dois regenerantes sobreviveram por apenas um ano (alturas próximas a 20 cm), e os outros dois indivíduos permaneceram por dois anos, porém com crescimento máximo de 2 cm em altura no período, atingindo alturas entre 20 cm e 33 cm.

De forma similar, nos resultados obtidos em seis parcelas de 15 m x 15 m, em floresta primária manejada de forma a mantê-la sem a presença de taquaras, o número de regenerantes foi também muito baixo, tendo sido observadas apenas duas plântulas no mesmo período, ambas com sobrevivência inferior a dois anos e alturas não ultrapassando 35 cm. Considerando que as parcelas possuem indivíduos adultos reprodutivos de araucária em seu interior e proximidades, pode-se assumir que a baixa presença de regenerantes não é ocasionada pela falta de propágulos, mas ligada a possíveis altas taxas de predação e, ou condições ambientais locais não adequadas ao desenvolvimento de plântulas.

Entre as árvores adultas, remedições anuais de parcelas instaladas na EEEC no período de 2004 a 2012 indicaram mortalidade de 16,86% de árvores de araucária e não foram observadas novas árvores desta espécie com DAP superior a 20 cm, que foi o limite estabelecido no estudo (Beckert et al., 2014). Tal resultado corrobora os dados obtidos quando da avaliação de plântulas e mudas de pequeno porte desta espécie (Figura 7).



Figura 7. Vista do interior da floresta em estágio avançado de sucessão na EEEC.

Floresta em sistema tradicional de produção - Caíva

Caívas são sistemas tradicionais típicos da região do Planalto Norte de Santa Catarina, onde a produção animal em pastagem nativa ou naturalizada ocorre em remanescentes florestais comumente acompanhada da exploração da erva-mate. Embora haja grande variabilidade do componente florestal das caívas, sua estrutura e diversidade são importantes para a manutenção da diversidade, em nível da paisagem. Hanisch et al. (2010), estudando cinco caívas em Santa Catarina, encontraram árvores de araucária com DAP igual ou superior a 5 cm em todas as áreas.

A densidade de araucária variou significativamente entre as áreas, com média de 85 árvores por hectare, variando entre 13 e 22 em três das caívas avaliadas, e de 166 a 207 em outras duas. As diferenças entre os locais também podem ser observadas pelas densidades de espécies de importância comercial como a erva-mate e a imbuia, e condições ambientais locais, como no caso da grande densidade de guamirim (*Myrcia* sp.), comumente encontrada em locais planos e de solos semi-hidromórficos ou hidromórficos. Embora o trabalho de Hanisch et al. (2010) apresente informações gerais da estrutura populacional, é interessante notar que, a despeito do uso das áreas para criação animal, atrelada ao manejo do estrato herbáceo-arbustivo e da regeneração natural, a araucária está presente.

Em uma avaliação dos efeitos das práticas de manejo da vegetação, do potencial de regeneração em áreas de caíva e dos impactos da criação animal, Hanisch (2018) avaliou a dinâmica da regeneração natural em parcelas mantidas fechadas durante cinco anos, de 2010 a 2015. A autora descreve o desenvolvimento de abundante e diversa regeneração de espécies florestais, cujo estado inicial, em 2010, mostrava ausência de regenerantes (Figura 8A), até uma ocupação do espaço com indivíduos pioneiros atingindo mais de 8 m em 2015, junto com espécies dos demais grupos ecológicos (Figura 8B).



Figura 8. Aspecto geral de interior de caíva com ausência de regeneração natural (A), e desenvolvimento de regenerantes em alta densidade e diversidade em caíva cercada (B).

Na análise adicional dos dados, a presença de regenerantes de araucária se iniciou já na primeira medição pós-cercamento, em 2012, com cinco indivíduos representando 312 plantas por hectare, cujas alturas variaram entre 18 cm e 48 cm, sugerindo idades prováveis de até dois anos. Concomitantemente ao aumento geral da densidade de regenerantes e diversidade, o número de regenerantes de araucária aumentou para oito indivíduos, representando 500 árvores por hectare, com alturas de até 59 cm. Em 2015 pôde-se observar claro desenvolvimento dos regenerantes, que já alcançavam alturas de 80 cm a 90 cm. Tal crescimento observado na araucária indica que a espécie está se desenvolvendo e competindo com plantas de outras espécies, apresentando real possibilidade de alcançar o estrato florestal superior e de se manter, com populações viáveis.



A ocorrência de densa e diversa regeneração natural seguida de seu potencial de crescimento indica que caívas podem ter seu componente florestal manejado, possibilitando sua manutenção no longo prazo, mantendo indivíduos de variadas idades e alta diversidade, incluindo a própria araucária, sem a necessidade de intensa intervenção. Finalmente, independentemente dos possíveis impactos que o componente animal possa ter sobre a floresta, percebe-se que há grande resiliência ambiental, o que indica oportunidades para se manter as caívas como um sistema produtivo com grande importância para a manutenção da diversidade florestal, em nível local e de paisagem.

Considerações finais

Os resultados aqui apresentados, refletindo em grande parte a diversidade de uso e conservação atual da Floresta com Araucária, reafirmam o entendimento de que há pouca ou nenhuma regeneração natural de sua espécie símbolo (*A. angustifolia*) em áreas florestais sob estágio avançado de sucessão. A estratificação de seu componente arbóreo, em que os indivíduos se distribuem em alturas diversas formando estratos, acaba compondo gradientes nos quais a disponibilidade de luz é reduzida junto ao solo, limitando, desta forma, a capacidade germinativa e de desenvolvimento de algumas espécies. Neste caso, a araucária, por requerer níveis superiores de luz aos encontrados no sub-bosque de suas próprias florestas, permanece ausente do componente regenerativo até que clareiras sejam criadas e incrementem a disponibilidade lumínica.

Por outro lado, a araucária se mostrou apta a regenerar-se em florestas em estágios iniciais e médios de sucessão, sendo única exceção as florestas cujo sub-bosque é dominado por taquaras. Neste contexto, pode-se perceber que o manejo de florestas em níveis adequados possibilita a regeneração natural de espécies arbóreas, inclusive da própria araucária. A ausência do manejo pode ser prejudicial à manutenção da estrutura e diversidade de uma floresta no longo prazo, especialmente quando esta possui um desequilíbrio ecológico. Nas pesquisas relatadas nesse estudo, tal fato se dá pela dominância do sub-bosque por taquaras, o que demanda ação intensiva e continuada para a sua supressão. Já em florestas nas quais há produção de erva-mate e gado e, conseqüentemente, ausência de taquaras, foram observados indivíduos de araucária em diversas fases de desenvolvimento, incluindo-se regenerantes e juvenis (não reprodutivos).

As caívas, sistemas tradicionais de produção em florestas, são exemplos elucidativos da necessidade de implementação de ações complementares de manejo florestal. Enquanto a manutenção do sub-bosque com luminosidade em níveis mínimos para o desenvolvimento de pasto se dá, em grande parte, pela eliminação parcial da regeneração natural, sua capacidade regenerativa é alta. Assim, a presença de poucos regenerantes, ou mesmo sua ausência, são apenas preocupantes caso ocorram por longos períodos. Neste sentido, o planejamento do uso da terra de forma a possibilitar o desenvolvimento de indivíduos florestais jovens das diversas espécies é facilmente implementável por meio do isolamento rotativo e temporário de porções da área. Deve-se ressaltar que a adoção de práticas de manejo, incluindo a condução de sub-bosque e o corte de vegetação herbácea, podem ser meios eficientes para o desenvolvimento da araucária.

Os exemplos discutidos neste capítulo representam importante diversidade de configurações florestais e das propriedades rurais presentes na região da Floresta com Araucária. Os resultados ajudam a elucidar o papel das florestas existentes em propriedades rurais e das práticas tradicionais de manejo florestal para a conservação da araucária. Tais práticas devem ser consideradas por ocasião da elaboração de políticas públicas para a conservação da Floresta com Araucária, bem como apoiadas por pesquisas científicas e submetidas ao refinamento técnico, com definição



de critérios para a sua aplicação no manejo de florestas visando fomentar a capacidade regenerativa da araucária.

Agradecimentos

Os autores agradecem imensamente ao Sr. Ardelino Grando (in memoriam) e ao Sr. Bernardo Vergopolen, proprietários das áreas de Caçador e Bituruna, respectivamente, por tornarem possível a pesquisa em suas áreas e aos técnicos Carlos Roberto Úrio, por seu apoio nas medições de campo e Wilson Maschio, por identificar as espécies no levantamento de campo em Caçador.

Referências

BACKES, A. Determinação da idade e regeneração natural de uma população de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze em um povoamento florestal localizado no município de Caxias do Sul, RS, Brasil. **Iheringia Serie Botanica**, v. 56, p. 115-130, 2001.

BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.

BITTENCOURT, J. V. M.; SEBBENN, A. M. Patterns of pollen and seed dispersal in a small, fragmented population of the wind-pollinated tree *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. **Heredity**, v. 99, p. 580-591, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente, **Resolução CONAMA nº 10/1993, de 1 de outubro de 1993**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/202/_arquivos/conama_res_cons_1993_010_estgios_sucessionais_de_florestas_geral_202.pdf. Acesso em: 14 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 278/2001, de 24 de maio de 2001**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=276>. Acesso em: 8 out. 2018.

CALDATO, S. L.; FLOSS, P. A.; CROCE, D. M. da; LONGHI, S. J. Estudo da regeneração natural, banco de sementes e chuva de sementes na Reserva Genética Florestal de Caçador, SC. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 27-38, 1996. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098323>.

CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro-do-paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 17 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 60). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/304455>.

DORNELES, R. C. **Boletim dos preços de toras**. [Curitiba]: Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná, 2012. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/qas/uploads/3175/produtos_florestaisagosto_2012.pdf. Acesso em: 8 out. 2018.

DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R. Ecophysiological responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) seedlings to different irradiance levels. **Australian Journal of Botany**, v. 48, p. 531-537, 2000.

DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R.; ROSA, L. M. G. Assessing the role of light availability in the regeneration of *Araucaria angustifolia*. **Australian Journal of Botany**, v. 50, n. 6, p. 741-751, 2002.

HANISCH, A. L. **Intensificação do uso da pastagem em sistema silvipastoril tradicional (caívas) como estratégia de uso sustentável de remanescentes de Floresta Ombrófila Mista**. 2018. 154 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HANISCH, A. L.; VOGT, G. A.; MARQUES, A. da C.; BONA, L. C.; BOSSE, D. D. Estrutura e composição florística de cinco áreas de caíva no Planalto Norte de Santa Catarina. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 303-310, 2010. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.3032010>.



KELLERMANN, B.; LACERDA, A. E. B. Bambus nativos como espécies invasoras no Sul do Brasil. In: DRUMOND, P. M.; WIEMAN, G. (org.). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2017. p. 179-196.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, p. 17-44, 1960.

KLEIN, R. M. Southern Brazilian phytogeographic features and probable influence of upper quaternary climatic changes in the floristic distribution. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 33. p. 67-88. 1975.

LACERDA, A. E. B. Conservation strategies for Araucaria Forests in Southern Brazil: assessing current and alternative approaches. **Biotropica**, v. 48, p. 537-544, 2016.

LINGNER, D. V.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSOT, N. C.; DLUGOSZ, L. F. Caracterização da estrutura e da dinâmica de um remanescente de Floresta com Araucária no Planalto Catarinense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 55, n. 1, p. 55-66, 2007.

LIOCOURT, F. de. De l'aménagement Des sapinières. **Bulletin de La Société Forestière Franche-Comté Belfort**, n. 6, p. 396-409, 1898.

MARAN, J. C. **Tratamentos silviculturais como subsídio ao ordenamento florestal por talhões em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista**. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MEDINA-MACEDO, L.; LACERDA, A. E. B. de; SEBEN, A. M.; RIBEIRO, J. Z.; SOCCOL, C. R.; BITTENCOURT, J. V. M. Using genetic diversity and mating system parameters estimated from genetic markers to determine strategies for the conservation of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae). **Conservation Genetics**, v. 17, n. 2, p. 413-423, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0793-2>.

PINTO, G. R. M. A revalorização como forma de garantir a perpetuação do Pinheiro Brasileiro (*Araucaria angustifolia*) e da floresta de araucárias. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 7., 2009, Brasília, DF. **Anais...** [Luziânia]: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais; [Brasília, DF]: EMATER-DF: Embrapa, 2009.

RIVERA, H. **Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada**. 2007. 225 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SAMPAIO, M. B.; GUARINO, E. S. G. Efeitos do pastoreio de bovinos na estrutura populacional de plantas em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1035-1046, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000600008>.

SANTOS, A. J.; MÜLLER, A. C. Produtos não madeireiros e serviços da floresta de Araucária. In: SANQUETTA C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. p. 235-264.

SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, n. 2, p. 221-232, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2008.05.013>.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Recovery and conservation of Araucaria Forest in Brazil through plantation's establishment: a genetic point of view. In: TROPENTAG, 2007; CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT, 2007, Göttingen. **Abstracts**. Kassel: University of Kassel; Göttingen: University of Göttingen, 2007. Disponível em: <http://www.tropentag.de/2007/abstracts/full/160.pdf>. Acesso em: 8 out. 2018.

ZANNE, A. E.; CHAPMAN, C. A. Expediting reforestation in tropical grasslands: distance and isolation from seed sources in plantations. **Ecological Applications**, n. 11, p. 1610-1621, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1610:ERITGD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1610:ERITGD]2.0.CO;2).



11

**Crescimento
em diâmetro
de *Araucaria
angustifolia* em
florestas naturais
e em plantios
estabelecidos
na região
Sul do Brasil**

Patrícia Povoia de Mattos
Evaldo Muñoz Braz
Aline Canetti
Aurélio Lourenço Rodrigues
Rafaella de Angeli Curto
Thiago Floriani Stepka
Afonso Figueiredo Filho
Ana Paula Dalla Corte
Carlos Roberto Sanquetta
Sebastião do Amaral Machado
Sylvio Pellico Netto

Introdução

O incremento em diâmetro é uma das mais importantes características dimensionais para avaliação da dinâmica de crescimento de determinada espécie arbórea. Informações sobre o crescimento das espécies arbóreas são grandes auxiliares para o conhecimento de suas fases de vida, estimativas de produção de biomassa e planejamento de seu manejo. Sabe-se que fatores externos e internos podem ser fonte de alteração do padrão de crescimento esperado, sendo importante conhecê-los para poder manejar a floresta.

O incremento em diâmetro muitas vezes é apresentado em valores médios. Entretanto, resultados apresentados dessa forma podem mascarar as simulações de crescimento. Isso dificulta a identificação do incremento potencial máximo, reduzindo expectativas de condução e manejo da espécie.

O crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze pode variar em função da altitude, solo, ambiente local, disponibilidade de luz, características genéticas, entre outros fatores. Além disso, mesmo considerando um mesmo ambiente, o incremento de crescimento pode variar de acordo com a idade e, principalmente, a fase de vida da espécie.

Assim, é importante conhecer o padrão de crescimento de araucária, em diferentes situações ambientais. Este capítulo apresenta dados de crescimento diamétrico dessa espécie: a) em diferentes remanescentes da região Sul do Brasil; b) em situações diferenciadas de alteração ou sucessão arbórea; c) em plantio homogêneo, sob condições diferenciadas de competição e d) em plantio de áreas urbanas sob condições de poluição atmosférica.

Crescimento de *Araucaria angustifolia* em remanescentes no Sul do Brasil

Material de estudo

Para entendimento do padrão de crescimento de *Araucaria angustifolia* sob condições de floresta natural, tomar-se-á como base a pesquisa realizada por Stepka (2012), em seis diferentes locais no Sul do Brasil (Figura 1), sendo um no Rio Grande do Sul (Flona de São Francisco de Paula), três em Santa Catarina (Flonas de Chapecó e de Três Barras e Reserva Florestal Embrapa/Epagri de Caçador) e dois no Paraná (Flona de Irati e Estação Experimental da UFPR, em São João do Triunfo). Os dados de crescimento foram obtidos de parcelas permanentes instaladas e medidas em vários anos e de estudos dendrocronológicos realizados em amostras de 30 árvores por local, selecionadas de acordo com a distribuição diamétrica da floresta definida em inventários anteriores. Maiores detalhes quanto à metodologia e à caracterização dos locais de estudo podem ser obtidos em Stepka (2012).

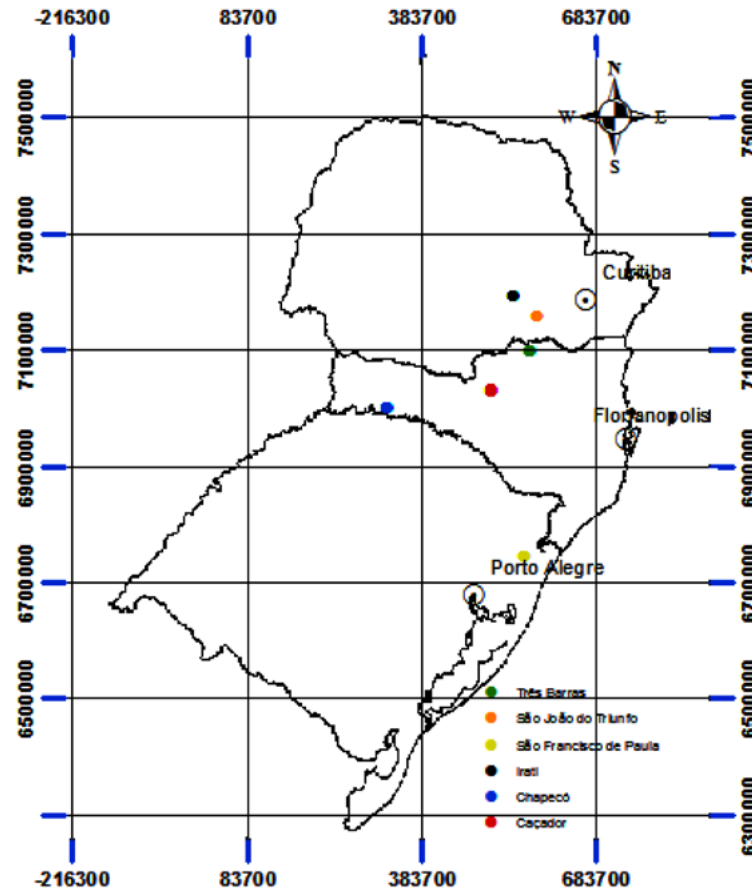


Figura 1. Locais no Sul do Brasil onde foram coletadas as amostras posicionadas em coordenadas UTM, Datum SAD 1969.

Crescimento diamétrico

Os valores médios de diâmetros a 1,30 m de altura do solo (DAP) das 30 árvores de cada local e de incremento diamétrico, com os respectivos desvio padrão e coeficiente de variação, podem ser observados na Tabela 1. O menor valor de crescimento foi observado em Caçador, SC e o maior em Irati, PR. Alguns relatos de crescimento médio em diâmetro de araucária dentro da amplitude observada para os diferentes locais deste estudo (Tabela 1) podem ser encontrados na literatura indicada na Tabela 2.

Embora hajam divergências de valores encontrados por outros pesquisadores, com relação aos resultados desta pesquisa, vale a pena ressaltar que, em tais trabalhos, a amplitude do período de monitoramento é relativamente pequena (no máximo 20 anos) e que os períodos entre medições apresentam intervalos próximos de 3 a 5 anos (Figueiredo Filho et al., 2010; Cubas, 2011) a até 20 anos (Schaaf, 2001), o que poderia retratar um estado de competição ou de crescimento acelerado mais evidente para as árvores nesta fase.

No caso de estudos realizados com dados de análise de tronco, além da medição com efetiva acurácia, os valores representam séries de longos períodos (por exemplo, mais de 240 anos para dados de Caçador, SC), onde é possível avaliar o desenvolvimento dos indivíduos em uma amplitude temporal muito maior que aquela de parcelas permanentes.



Tabela 1. Valores médios de DAP e de incremento diamétrico, com os respectivos desvio padrão e coeficiente de variação por local, para *Araucaria angustifolia*.

Local	DAP médio (cm)	Incremento diamétrico (cm ano ⁻¹)	Desvio padrão (cm)	C.V. (%)
Caçador, SC	75,0	0,30 a	0,10	33,3
Chapecó, SC	34,6	0,44 b	0,17	39,4
Irati, PR	59,9	0,58 c	0,20	34,5
São Francisco de Paula, RS	39,7	0,39 b	0,10	25,6
São João do Triunfo, PR	39,4	0,40 bc	0,10	25,0
Três Barras, SC	31,9	0,49 bc	0,14	28,9

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey. C.V. = coeficiente de variação.

Tabela 2. Valores médios de incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* em diferentes locais no Sul do Brasil.

Local	Incremento médio (cm ano ⁻¹)	Fonte
Floresta Nacional de Irati, PR	0,45	Figueiredo Filho et al. (2010)
São João do Triunfo, PR	0,32	Schaaf (2001)
São João do Triunfo, PR	0,42	Durigan (1999)
São João do Triunfo, PR	0,19	Pizzato (1999)
Caçador, SC	0,45*	Rivera (2007)
Três Barras, SC	0,27	Cubas (2011)

* Incremento de um intervalo de 10 anos usando dados de análise de tronco parcial.

Crescimento por classe diamétrica

O padrão de crescimento ao longo da vida das árvores varia de acordo com o local de crescimento. Na análise do incremento médio por classe de diâmetro, com amplitude de 10 cm, foi possível observar comportamento distinto entre os diferentes locais (Figura 2).

Várias causas podem ter provocado essas diferenças de crescimento entre locais. Por exemplo, no município de Irati foi observado maior crescimento médio nas três primeiras classes diamétricas, enquanto que, em Chapecó, o crescimento na quarta e quinta classes apresentaram os maiores valores. Possivelmente, os indivíduos crescendo em Irati refletem uma condição com maior espaço vital, ou seja, pouca competição no dossel da floresta para o seu desenvolvimento, enquanto que as árvores de maiores dimensões entre copas de árvores, que ocupam o estrato arbóreo superior da floresta, apresentam maior competição entre suas copas, nestas condições. No caso de Chapecó, o dossel estaria mais fechado, tornando a competição por espaço nas classes de menor diâmetro mais evidente, pelo baixo crescimento nestas classes.

Também é possível observar a diminuição do incremento diamétrico médio à medida que o DAP aumenta, demonstrando a perda de potencial de crescimento das árvores com o aumento das dimensões e da idade dos indivíduos. O crescimento das árvores é compatível com o padrão sigmoidal proposto para seres vivos, segundo Odum (1988).

Novos estudos deveriam incluir em suas avaliações, características dos solos, microclima, variabilidade genética, idade do povoamento, dentre outros fatores provocando essas diferenças de crescimento entre locais.

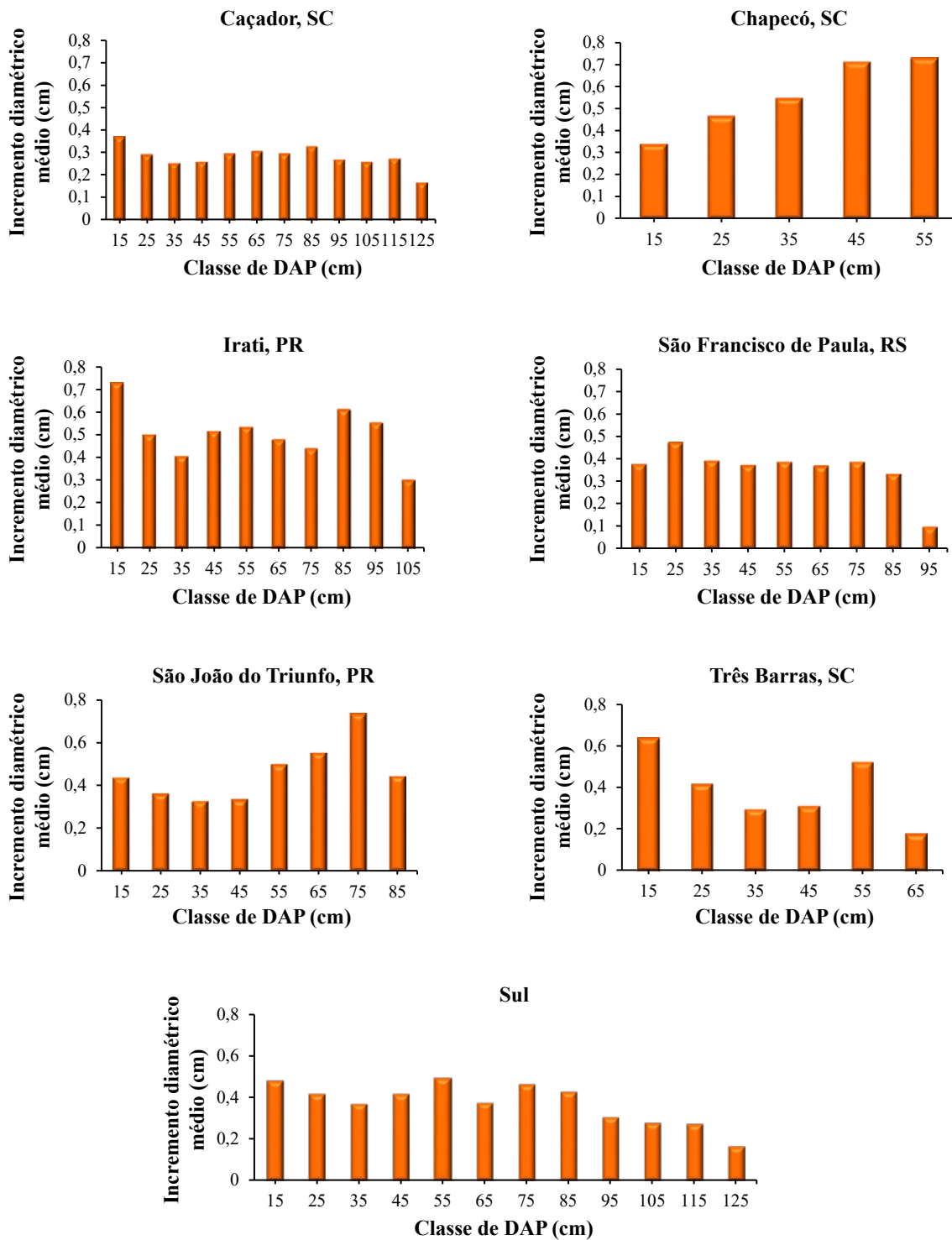


Figura 2. Incremento diamétrico médio anual de *Araucaria angustifolia*, por classe de diâmetro, nos diferentes locais e para a região Sul como um todo.



Comparação do incremento diamétrico médio por década, nos diferentes locais

Os resultados da análise

Analisando-se os dados de médias de incremento diamétrico das araucárias crescendo em Caçador, constataram-se diferenças significativas entre as décadas estudadas, porém, quando se observa os dados de Chapecó, as diferenças não foram significativas (Tabela 3). Segundo Gomes (1987), podem ocorrer situações em que o teste F é significativo, mas as diferenças entre as médias não são significativas pelo teste de Tukey, semelhante ao observado para as amostras de Chapecó, da mesma forma que pode ocorrer o inverso, com o resultado do teste F não significativo, mesmo quando um ou mais contrastes sejam significativos. Fatos semelhantes também podem acontecer com o teste de Duncan, que pode apresentar resultados discordantes do teste de F.

Tabela 3. Crescimento médio anual em diâmetro (cm ano⁻¹) de *Araucaria angustifolia*, por década, para os diferentes locais.

Década	Caçador, SC	Chapecó, SC	Irati, PR	São Francisco de Paula, RS	São João do Triunfo, PR	Três Barras, SC
Crescimento diamétrico médio anual (cm)						
1770	0,62 a	-	-	-	-	-
1780	0,40 a	-	-	-	-	-
1790	0,30 a	-	-	-	-	-
1800	0,17 a	-	-	-	-	-
1810	0,28 a	-	-	-	-	-
1820	0,25 a	-	-	-	-	-
1830	0,21 a	-	-	-	-	-
1840	0,25 a	-	0,15 cd	-	-	-
1850	0,28 a	-	0,20 cd	-	-	-
1860	0,35 a	-	0,17 cd	-	-	-
1870	0,33 a	-	0,18 cd	-	-	-
1880	0,27 a	-	0,17 cd	-	-	-
1890	0,27 a	-	0,11 d	-	-	-
1900	0,29 a	0,49 a	0,13 d	-	-	-
1910	0,27 a	0,21 a	0,19 cd	0,41 abc	-	-
1920	0,24 a	0,30 a	0,30 bcd	0,58 a	0,49 abc	-
1930	0,24 a	0,23 a	0,58 abc	0,44 ab	0,54 a	-
1940	0,25 a	0,19 a	0,67 ab	0,46 ab	0,51 ab	0,44 abc
1950	0,26 a	0,31 a	0,66 a	0,45 ab	0,34 abc	0,58 ab
1960	0,30 a	0,34 a	0,69 a	0,40 ab	0,33 abc	0,76 a
1970	0,30 a	0,44 a	0,69 a	0,37 abc	0,35 abc	0,57 a
1980	0,30 a	0,50 a	0,49 abc	0,34 bc	0,37 abc	0,41 bc
1990	0,28 a	0,49 a	0,38 bc	0,25 cd	0,31 bc	0,29 c
2000	0,23 a	0,47 a	0,34 bcd	0,18 d	0,28 c	0,23 c
F	1,20 ns	5,43 **	13,08 **	9,93 **	3,26 **	15,88 **
Fcrit	1,85	2,39	2,06	2,47	2,59	2,91
pvalor	0,2300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0000

** = significativo a 1%; ns = não significativo; F = valor calculado do teste F; Fcrit = valor tabelado do teste F a 1%; Média = incremento médio anual por década (cm); Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.



O autor ainda relata que tais discordâncias se devem à aceitação de hipóteses diferentes nas decisões teóricas, e são de pouca importância prática.

Foi possível verificar alguns picos de crescimento, tais como aqueles verificados em Chapecó e Irati. No primeiro local, verificaram-se os maiores crescimentos diamétricos médios para a araucária nas décadas de 1980 e 1990. No segundo local, os maiores crescimentos diamétricos ocorreram nas décadas de 1940, 1950, 1960 e 1970, demonstrando ter havido algum fator ambiental nestes períodos que tenha favorecido o incremento diamétrico da espécie. Nos demais locais, observou-se uma redução do crescimento nas últimas duas décadas, sendo a maior diferença verificada em Caçador e São Francisco de Paula (Tabela 3).

Mattos et al. (2010), analisando o crescimento interdecadal médio de seis espécies estudadas em Caçador, SC, relataram que *A. angustifolia* responde aos estímulos ambientais com aumento do incremento médio anual, seja por variações nas condições climáticas ao longo do tempo ou por interferências antrópicas, mesmo em árvores com grandes diâmetros e com altura já estabilizada, independentemente de sua posição fitossociológica ou de suas características ecológicas.

Neste caso, por tratar-se de remanescentes florestais preservados sem a intervenção antrópica há pelo menos 50 anos, a diminuição do crescimento nas últimas décadas pode ter como causas prováveis a fase avançada do ciclo de vida das árvores mais velhas e a competição das mais jovens, sobretudo em Caçador, uma vez que as árvores amostradas neste local apresentam os maiores diâmetros.

Estas informações podem ser de grande utilidade para subsidiar estratégias de corte seletivo, de maneira a favorecer o crescimento das árvores remanescentes pela abertura de espaço e diminuição da competição na floresta, sobretudo nas classes diamétricas e estratos inferiores. Este estudo permitiu verificar a existência de diferenças estatísticas no crescimento das árvores de araucária nos diferentes locais, inclusive diferenças significativas entre os incrementos obtidos, com tendências de redução destes valores, nas últimas décadas. Tais diferenças podem ser atribuídas, ao fator genético e, ou às variações climáticas, edáficas e estruturais de cada remanescente, proporcionando informações importantes para o manejo florestal, uma vez que modelos generalistas de intervenções silviculturais para espécie apresentam maior dificuldade de utilização.

Crescimento de populações naturais de araucária em diferentes estágios sucessionais

Material de estudo

Esta análise baseou-se nos estudos conduzidos por Rodrigues (2016), onde foi avaliado o crescimento de populações de araucária sob diferentes estágios sucessionais, analisadas por meio de oito parcelas permanentes monitoradas continuamente durante anos (1999 a 2013). A área de estudo envolveu remanescentes de Floresta Ombrófila Mista Montana localizados em propriedades das Indústrias Pizzato, município de General Carneiro (26°25'39"S e 51°18'56"O), extremo sul do estado do Paraná. O clima local é subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo classificação de Köppen, com verões amenos e invernos com geadas frequentes (Paraná, 1987). Os principais solos na região são os Neossolos e Nitossolos (Bhering; Santos, 2008) e o relevo predominante é o montanhoso, com partes onduladas e planas (Maack, 1981).



A vegetação predominante, conforme classificação do IBGE (2012), é a Floresta Ombrófila Mista Montana, composta majoritariamente por indivíduos de *A. angustifolia*, *Ilex paraguariensis* (erva-mate), *Ocotea porosa* (imbuia), *Sapium glandulatum* (leiteiro) e *Drimys brasiliensis* (cataia). Juntas, essas cinco espécies perfazem aproximadamente 60% dos indivíduos da comunidade arbórea (Mognon, 2011).

Em 1999 foram instaladas oito unidades amostrais permanentes de 1 ha cada, distribuídas aleatoriamente sobre a área. As parcelas fazem parte do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), Sítio 9, apoiado pelo CNPq. As áreas onde se localizam as parcelas permanentes apresentam diferentes graus de intervenção antrópica. De modo geral, no passado, essas áreas foram sujeitas à exploração madeireira de espécies de valor comercial como a araucária e a imbuia, além da exploração da erva-mate e criação de animais, conforme Barth Filho (2002). Esse autor, em trabalho desenvolvido na área, classificou previamente as oito parcelas nas três tipologias florestais principais:

- Formação mista de araucária no dossel (A), com gramíneas (G) no sobosque (parcelas 1 e 4).
- Formação florestal, com predomínio de araucária (A) no dossel (parcelas 2 e 6).
- Formação florestal natural mista de araucária, com folhosas (F) no dossel (parcelas 3, 5, 7 e 8).

Incremento periódico anual nos diferentes estágios sucessionais

Analisando-se o incremento periódico anual (IPA) em DAP para as populações de araucária, observa-se que os valores de incremento variaram de 0,12 cm ano⁻¹ (parcela 5) a 0,36 cm ano⁻¹ (parcela 2), com diferenças significativas entre as parcelas (Tabela 4). A média do incremento para a espécie foi 0,25 cm ano⁻¹.

Tabela 4. Incremento periódico anual (IPA) em valores de DAP de *Araucaria angustifolia*, em parcelas permanentes, em fragmentos florestais no extremo sul paranaense, no período de 1999 a 2013.

Parcela	Número de árvores de araucária (N ha ⁻¹)	Área basal total de araucária (m ² ha ⁻¹)	IPA DAP* (cm ano ⁻¹)
5 (F)	147	20,47	0,12 a
3 (F)	159	13,35	0,20 b
4 (AG)	167	25,57	0,20 b
1(AG)	62	14,69	0,26 bc
7(F)	81	8,20	0,29 cd
6 (A)	213	19,51	0,33 cd
2 (A)	37	11,37	0,36 d
Média	123,71	16,16	0,25

* Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste SKN a 5% de probabilidade. Análise de variância significativa (F calculado = 15,64, p < 0,05), Teste de Levene para homogeneidade das variâncias = 1,803 (p = 0,102). N = número de árvores; DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo.

Incremento periódico anual em área basal

O IPA da área basal total da espécie variou de 0,1278 m² ha⁻¹ ano⁻¹ (parcela 5) a 0,3172 m² ha⁻¹ ano⁻¹ (parcela 6), com média de 0,1840 m² ha⁻¹ ano⁻¹. Houve diferença significativa entre as parcelas (Tabela 5). Observa-se a tendência de maior incremento em área basal nas unidades com maior número de indivíduos da espécie. Exceção é a parcela 5 que, embora apresente um número elevado

de indivíduos de araucária, também é a parcela com maior densidade e área basal, o que pode configurar como um fator restritivo ao crescimento da espécie, visto que nessa parcela o incremento em DAP também foi o menor.

Avaliando a correlação entre as variáveis estruturais da floresta (área basal e número de árvores) e o incremento de araucária, observa-se uma relação inversa entre o IPA em diâmetro com área basal ($r = -0,78$; $p = 0,02$) e com o número de árvores ($r = -0,76$; $p < 0,03$), indicando menor incremento diamétrico em ambientes mais estocados. O IPA em área basal apresentou correlação direta apenas com o número de árvores ($r = 0,74$; $p = 0,03$), uma vez que um maior número de indivíduos tende a resultar em maior incremento em área basal.

Considerando o incremento por classe diamétrica (Figura 3), observa-se que a classe de 40-50 cm foi a que apresentou maior incremento em DAP, porém não houve diferença estatística entre os incrementos diamétricos das diferentes classes ($F = 0,63$; $p = 0,70$). O incremento em área transversal individual de araucária apresenta tendência crescente em relação às classes diamétricas, resultando em diferenças significativas entre o incremento das maiores quando comparado ao de menores classes (classes 40-50 cm comparada com a classe > 70 cm; $F = 5,84$ $p < 0,05$).

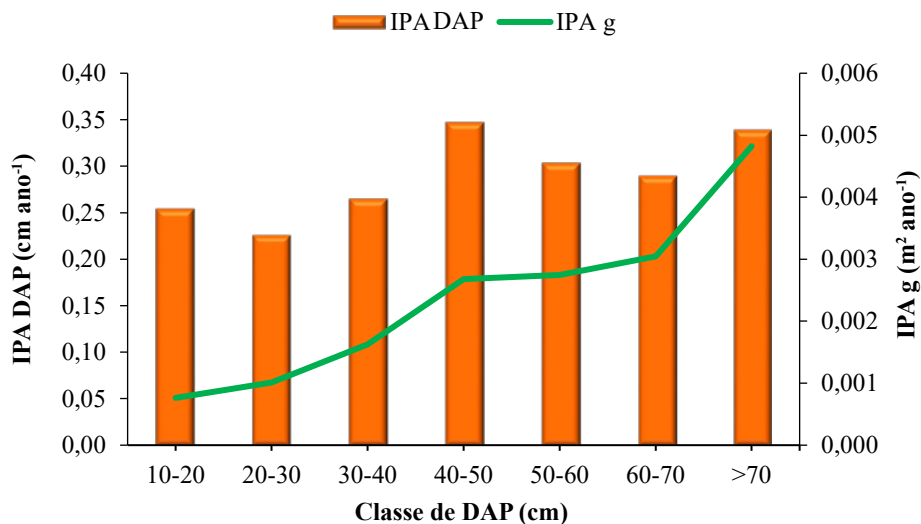


Figura 3. Incremento periódico anual (IPA) de *Araucaria angustifolia* em DAP e da área transversal da árvore individual (g) por classe diamétrica, para cada classe diamétrica avaliada.

Tabela 5. Incremento periódico anual (IPA) em área basal (G) de *Araucaria angustifolia* por parcelas em fragmentos florestais no extremo sul paranaense, no período de 1999 a 2013.

Parcela	IPA G* (m ² ha ⁻¹ ano ⁻¹)
5 (F)	0,1278 a
1 (AG)	0,1502 ab
7 (F)	0,1525 ab
2 (A)	0,1522 ab
3 (F)	0,1746 ab
4 (AG)	0,2135 b
6 (A)	0,3172 c
Média	0,1840

* Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK a 5% de probabilidade. Análise de variância significativa (F calculado = 8,29, $p < 0,05$), Teste de Levene para homogeneidade das variâncias = 2,03 ($p = 0,053$).



O incremento em DAP e área transversal da árvore individual da araucária é bastante variável, quando comparado ao de outros trabalhos desenvolvidos em outras regiões. Stepka (2008) observou incremento diamétrico para araucária de 0,45 cm ano⁻¹ e de 0,1217 m² ha⁻¹ ano⁻¹ em área transversal da árvore individual na região centro-sul do Paraná, considerando um período de seis anos de avaliação. Cubas (2011) registrou incremento em DAP de 0,27 cm ano⁻¹ e de 0,1874 m² ano⁻¹ em área transversal da árvore individual no planalto norte catarinense, considerando cinco anos de avaliação, valores bem próximos ao deste estudo. Ebling (2012) observou incremento diamétrico de 0,15 cm ano⁻¹ na região nordeste do Rio Grande do Sul, em nove anos de monitoramento. Barth Filho (2002), em trabalho desenvolvido na mesma área e no período de 1998 a 2000, constatou incrementos diamétricos para a araucária que variaram de 0,07 cm ano⁻¹ a 0,30 cm ano⁻¹. As variações observadas entre os trabalhos podem ser atribuídas a diferentes condições de sítio e estágios sucessionais.

Incremento diamétrico anual de *A. angustifolia* em plantio superestocado

Material de estudo

Para entendimento do padrão de crescimento de *A. angustifolia* sob condições de plantio, será considerado o estudo de caso da pesquisa realizada por Curto (2015), na Floresta Nacional de Assungui, em Campo Largo, PR. O trabalho foi realizado em um plantio superestocado com 65 anos de idade, com relatos de condução de desbaste tardio entre 24 e 34 anos de idade. Foram avaliadas 296 árvores, por dendrocronologia, sendo que o maior diâmetro estudado foi 70 cm. Foram avaliadas 296 árvores, por dendrocronologia com amostras destrutivas e não destrutivas, e análise de copa, sendo que o maior diâmetro estudado foi de 70 cm.

Por se tratar de um povoamento não desbastado adequadamente, a seleção de árvores para coleta de amostra foi distribuída em classes diamétricas para aferição do crescimento.

Incremento diamétrico para diferentes classes de diâmetro atual

Os incrementos diamétricos médios atingidos para cada classe diamétrica atual estão apresentados na Tabela 6. O incremento médio da classe superior indica o potencial de crescimento de *A. angustifolia* no local de estudo, uma vez que um incremento médio anual atingido foi maior que 1,5 cm para as árvores de melhor desempenho.

Tabela 6. Incremento médio anual (IMA) de *Araucaria angustifolia* para diferentes classes de diâmetro atual.

Classes	IMA em diâmetro (cm)
Superior - 3 (50 ≤ DAP < 70 cm)	0,71 ± 0,45 a
Intermediária - 2 (30 ≤ DAP < 50 cm)	0,57 ± 0,43 b
Inferior - 1 (10 ≤ DAP < 30 cm)	0,46 ± 0,38 c
Média geral	0,58 ± 0,44 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Efeito da competição na formação de camadas de crescimento

Com os dados de crescimento obtidos e estimados por equação de crescimento previamente selecionada (Curto, 2015), foram ajustadas curvas de crescimento para cada uma das classes diamétricas avaliadas, sendo possível notar que, nas condições atuais, o crescimento diamétrico entre as classes é bastante distinto. Com base no teste de identidade entre modelos, foi possível comprovar a distinção entre o crescimento das diferentes classes de diâmetro atual, uma vez que o resultado significativo implica na diferença entre as curvas.

Como efeito da intensa competição a que o povoamento estava sendo submetido, além da distinção do crescimento, observou-se ausência de anéis de crescimento, na base e no DAP, até mesmo em árvores com maiores diâmetros ($50 \leq \text{DAP} < 70$ cm), ficando evidente o incremento diamétrico apenas nas partes mais altas da árvore. Anéis ausentes em *A. angustifolia* também foram verificados por Seitz e Kanninen (1989).

Um total de 63% das árvores avaliadas por dendrocronologia não formaram anel de crescimento à altura do DAP, em pelo menos um dos anos mensurados, sendo esta ocorrência maior em árvores de menores dimensões diamétricas, observando-se até dez anos de estagnação do crescimento do DAP causado pela falta de desbaste. Além dos menores diâmetros do fuste, menores diâmetros de copa mostraram influenciar a maior frequência de anéis ausentes. Isso porque, de acordo com Durlo (2001), assim que se inicia a competição entre as árvores, devido ao fechamento do espaço aéreo pelas copas, inicia-se também a diferenciação de classes sociológicas, nas quais alguns indivíduos se sobressaem no dossel da floresta, enquanto outros são dominados por seus vizinhos. Como resultado do decréscimo e ou estagnação do crescimento, conseqüentemente, há inibição da formação de anéis.

A competição está diretamente relacionada com o espaço vital que cada árvore tem disponível para o seu desenvolvimento (Kramer; Kozłowski, 1960; Assmann, 1970). Deste modo, as árvores podem responder de forma diferente às condições de crescimento a que estão sendo submetidas (Husch et al., 1982). Recuperar informações detalhadas sobre o ritmo de crescimento ao longo dos anos surge como possibilidade de compreender as limitações impostas pela competição entre árvores, possibilitando o planejamento da exploração florestal.

O crescimento diamétrico até atingir cinco anos de idade foi igual nas três classes avaliadas, mostrando que ainda não seria possível identificar com precisão árvores que seriam futuramente suprimidas mediante desbaste, quando considerado apenas a variável incremento em diâmetro. A partir dos 5 anos, as árvores que posteriormente formaram a classe superior (atualmente com 50-70 cm) já se destacavam em termos de crescimento diamétrico, atingindo a partir dos 10 anos incrementos médios significativamente diferentes das demais classes.

Crescimento por classe de diâmetro

A partir da análise das variações de incremento diamétrico e área transversal ao longo do fuste, observa-se que as árvores da menor classe de diâmetro atual ($10 \leq \text{DAP} < 30$ cm) atingiram a altura próxima ao DAP quando o povoamento completou 10 anos de idade. As árvores que posteriormente alcançariam diâmetros intermediários ($30 \leq \text{DAP} < 50$ cm) e maiores ($50 \leq \text{DAP} < 70$ cm) estavam com altura superior, indicando uma diferenciação no crescimento em altura nos primeiros anos do povoamento. Entre 10 e 20 anos, para as árvores de diâmetros menores e intermediários, ocorreu desvio de crescimento após a altura do DAP, com maior incremento diamétrico, resultante de uma maior competição para essas árvores, quando comparadas com as árvores de maior diâmetro.

Assim, a partir dos 10 anos de idade, já seria possível identificar as árvores em desvantagem em termos de competição. A primeira intervenção de desbaste já deveria ter sido realizada, possibilitando a liberação de espaço para as árvores mais competitivas. No entanto, o crescimento diamétrico até os 20 anos apresentou-se igual entre as classes de diâmetro atual intermediária ($30 \leq \text{DAP} < 50$ cm) e inferior ($10 \leq \text{DAP} < 30$ cm). Considerando-se que essas classes ainda não haviam se diferenciado pelo crescimento diamétrico ao nível do DAP, deduz-se que um desbaste naquele período ainda poderia ser bem-sucedido, apesar de que evidências relacionadas ao incremento ao longo do fuste já tenham possibilitado uma tomada de decisão.

Considerando os incrementos diamétricos médios atingidos para cada classe diamétrica atual (Figura 4), verificou-se semelhança entre as diferentes classes de diâmetro atual até atingir 10 cm de DAP. No entanto, na classe diamétrica de 10-20 cm houve diferença de ritmo de crescimento entre as três classes de diâmetro atual, sendo que a atual classe superior ($50 \leq \text{DAP} < 70$ cm) apresentava incremento maior que o dobro da classe inferior (menores diâmetros observados no povoamento atualmente – 10-30 cm).

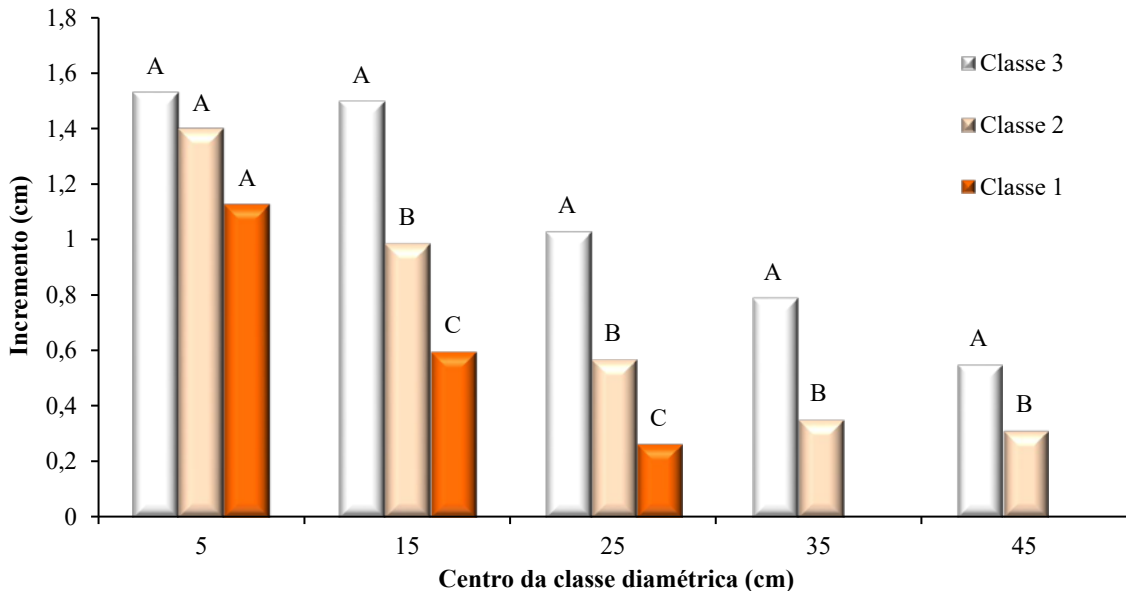


Figura 4. Dinâmica do incremento médio de árvores *Araucaria angustifolia* das classes de diâmetro atual, dentro de cada classe diamétrica. Para as comparações foi empregado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre as médias de incremento para uma mesma classe diamétrica considerando diferentes classes de diâmetro atual, sendo Classe 1 ($10 \leq \text{DAP} < 30$ cm), Classe 2 ($30 \leq \text{DAP} < 50$ cm) e Classe 3 ($50 \leq \text{DAP} < 70$ cm).

Crescimento diamétrico ao longo do fuste

Um aumento do incremento diamétrico nas partes mais altas do fuste ocorreu em maior proporção para as árvores das menores classes diamétricas, mas também ocorreu para as árvores de maiores dimensões ($50 \leq \text{DAP} < 70$ cm), no período entre 20 e 30 anos, sugerindo uma alta competição para todas as árvores, independente da classe diamétrica a que pertenciam. Neste período foi também evidente a mudança da forma do tronco (de cônicas a mais cilíndricas), resultante do maior incremento no topo do que na base, em decorrência da competição.



Entre os 30 e 40 anos, com relação ao acúmulo de área transversal, os troncos apresentaram-se cada vez mais cilíndricos, com maior formação de lenho nas partes superiores e, a partir de 60% da altura, as árvores apresentaram anéis de crescimento mais largos que os anéis do DAP. Nessa idade houve indicativos de que o povoamento já se encontrava superestocado. Nos 20 anos posteriores, as árvores apresentaram comportamento semelhante ao observado até aos 40 anos, com efeitos mais expressivos da competição. Assmann (1970) menciona que árvores sujeitas ao efeito intenso da competição tendem a depositar maiores incrementos na região superior do fuste, tendendo a uma forma mais cilíndrica.

Apesar do padrão verificado, as árvores respondem diferentemente à recuperação do crescimento, após interferência, tal como desbaste (Plauborg, 2004). Uma tendência de mais rápido crescimento radial nas partes inferiores do caule continua ao longo de toda a vida de árvores, às quais é oferecido espaço livre para crescimento (Assmann, 1970). Com o aumento da competição ocorre a redução do incremento nas partes inferiores do fuste. Assim, o histórico de manejo da área pode resultar em situações distintas do desenvolvimento espaço temporal da floresta (Krumm et al., 2012), gerando maior complexidade para a aplicação de protocolos de manejo específicos.

Crescimento e posição sociológica

Verificaram-se eventuais mudanças de posição sociológica de algumas árvores. Nos primeiros dez anos, uma árvore da menor classe de diâmetro do povoamento ($10 \leq \text{DAP} < 30$ cm), possuía crescimento semelhante e até maior que algumas árvores que atualmente estão na maior classe de diâmetro ($50 \leq \text{DAP} < 70$ cm). Outras, que apresentavam menor crescimento, recuperaram o desempenho, apesar de não terem ultrapassado a classe intermediária atualmente ($30 \leq \text{DAP} < 50$ cm), bem como árvores que apresentavam crescimento semelhante ao de árvores médias no início do povoamento e atualmente está entre as de maiores diâmetros. Tais árvores parecem ter sido favorecidas pelo desbaste, uma vez que os seus DAPs aumentaram consideravelmente entre os 30 e 40 anos, período após a intervenção no povoamento, resultando em maiores diâmetros nos anos posteriores. Há também casos contrários, em que inicialmente o crescimento atingiu classes intermediárias a superiores, reduzindo muito o diâmetro ao longo de sua vida. Essas árvores claramente sofreram com a competição estabelecida entre elas.

Assim, pode haver diferenciação do padrão de crescimento ao longo da vida das árvores decorrente de superação da competição e intervenções de desbaste, sendo possível verificar que a falta de manejo em momentos em que a competição se tornava expressiva comprometeu o desenvolvimento do povoamento de acordo com o potencial de crescimento. Isso resultou no que se observa hoje, que são árvores com incremento muito inferior ao potencial da espécie, apresentando DAP entre 10 cm e 70 cm.

Crescimento de *A. angustifolia* em área urbana

Material de estudo

As árvores em ambientes urbanos agregam qualidade de vida aos seres vivos, diminuindo, inclusive, a incidência de doenças respiratórias (Küchelmeister, 2000). Por meio de suas atividades metabólicas, como a fotossíntese e a transpiração foliar, filtram a poluição, amenizam extremos de

temperatura e controlam a umidade relativa, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e o conforto térmico da população (Brack, 2002).

Adicionalmente, as árvores contribuem com o conforto proporcionado pela infraestrutura urbana, fazendo sombra para veículos e pedestres, atuando como barreiras físicas para a propagação sonora e amenizando efeitos visuais de componentes antrópicos, como prédios, muros e vias públicas (Brack, 2002; Silva Filho, 2002).

Entretanto, o espaço disponível nas áreas urbanas geralmente não é adequado ao crescimento das árvores. A predominância de locais asfaltados e com construções de concreto aumenta o calor do verão, por elevar a temperatura do ar e do solo, que perde a umidade. O espaço limitado de solo exposto dificulta a infiltração das águas e a aeração dos solos, o que compromete as características de um solo sadio para a vegetação. Além disso, há compactação do solo e danos às raízes, troncos e galhos pelo tráfego de caminhões e máquinas de grande porte. Os veículos também produzem emissões de poluentes, que se combinam com as emissões industriais, dificultando o crescimento e a sobrevivência das árvores devido à má qualidade do ar (Poracsky; Scott, 1999).

O contato com poluentes aéreos pode ser prejudicial ao crescimento e desenvolvimento das árvores, resultando na limitação da capacidade fisiológica das raízes e folhas (Ashby; Fritts, 1972; McLaughlin, 1985; Muzica et al., 2004). A redução de fontes de carbono, água e nutrientes requeridos para a saúde da floresta causa, principalmente o decréscimo da produção de carboidratos pelas árvores afetadas. Essas mudanças tipicamente conduzem a um deslocamento na alocação relativa de energia para o crescimento, às custas de redução da resistência a estresses bióticos e abióticos (McLaughlin; Percy, 1999).

Entretanto, Poracsky e Scott (1999) demonstraram que árvores podem sobreviver e prosperar em áreas industriais, apesar de estarem submetidas às diversas condições negativas do local, que servem como barreira ao crescimento. As limitações ao crescimento podem ser superadas pela seleção de espécies, cuidados no plantio e manutenção silvicultural adequados (Canetti, 2015).

Neste contexto, foram avaliados os crescimentos de árvores de araucária em áreas urbanas caracterizadas por forte presença de indústrias, em trabalho desenvolvido por Canetti (2015). O município em que a pesquisa foi desenvolvida é Araucária, localizado na região metropolitana de Curitiba, PR, um polo industrial estabelecido a partir da década de 1970, quando foram implementados pelo governo incentivos fiscais para a instalação de indústrias (Silva, 2006).

A análise de crescimento foi realizada mediante dendrocronologia, coletando-se 144 amostras não destrutivas das árvores em diferentes bairros do município. Como foi observada forte correlação entre diâmetro e idade, optou-se por estratificar os dados em três classes diamétricas, que representam a fase de estabelecimento das árvores no município. As árvores de menores dimensões ($20 \leq \text{DAP} < 40$ cm) se estabeleceram em meio ao desenvolvimento da industrialização do município, aproximadamente no início da década de 1980. Já as árvores da classe 2 ($40 \leq \text{DAP} < 60$ cm) se estabeleceram aproximadamente na década de 1960, dez anos antes do início do período de industrialização do município, e as árvores da classe 3 ($\text{DAP} \geq 60$ cm) na década de 1930.

Os dados de poluição atmosférica foram provenientes de estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, cedidos pelo Instituto Ambiental do Paraná. Foram analisados dados de SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , CO e partículas totais suspensas e partículas inaláveis. A poluição do ar no município encontrava-se dentro de níveis aceitáveis. Mais detalhes sobre os níveis de poluição entre 2003 a 2013 podem ser encontrados em Canetti (2015).

Crescimento de *A. angustifolia* em condições de poluição atmosférica urbana

Foi possível observar que *A. angustifolia* é uma espécie sinalizadora da poluição atmosférica urbana e pode servir como ferramenta de monitoramento, uma vez que apresenta crescimento diferenciado em áreas antropizadas (Canetti et al., 2017). Ainda que em condições controladas de concentração de poluentes atmosféricos, *A. angustifolia* aparenta sofrer interferência da poluição em seu crescimento, sendo de diferentes intensidades, de acordo com a fase de estabelecimento das árvores e a intensidade da poluição.

Os anéis de crescimento em áreas mais poluídas, frequentemente, são pouco distintos (Figura 5), sinalizando que os distúrbios causados por diversos fatores característicos destas áreas, como podas inadequadas, vandalismo e a influência de poluentes, podem gerar respostas distintas às variáveis ambientais nesses ambientes, quando comparados ao ambiente da floresta natural (Wilczynski, 2006).

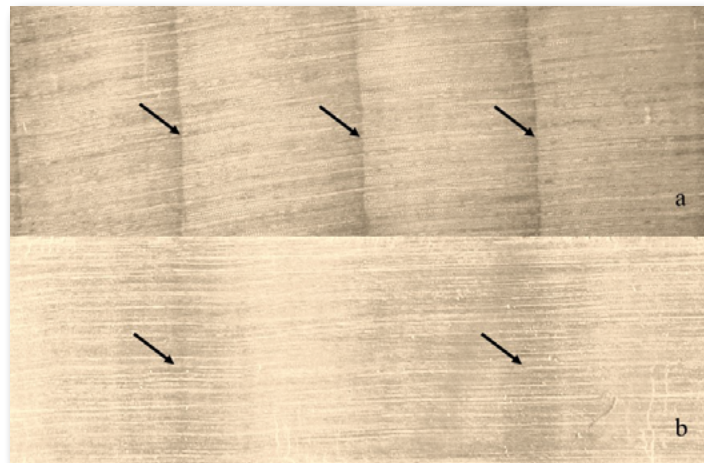


Figura 5. Ilustração dos anéis de crescimento de *A. angustifolia* bem demarcados (a) e trechos de menor distinção (b), em área urbana.

O crescimento da espécie em áreas urbanas resulta em redução devido aos efeitos da antropização, especialmente das árvores jovens (Canetti et al., 2017). Além de possíveis danos mecânicos a que as árvores possam ter sido submetidas, existe também o efeito de substâncias tóxicas na atmosfera, que podem inibir a capacidade de fotossíntese e de outros processos metabólicos (Ashby; Fritts, 1972).

As árvores de *A. angustifolia* em áreas urbanas apresentaram envelhecimento precoce (Classe 1), atingindo uma fase de crescimento desacelerado e tendendo à estagnação em ciclos mais curtos do que o esperado nas florestas naturais (Canetti et al., 2017). Entretanto, quando as árvores foram estabelecidas no município em períodos anteriores à acentuada urbanização (Classe 3), seu crescimento não foi afetado, permanecendo similar ao que ocorre em ambiente de floresta natural (Figura 6).

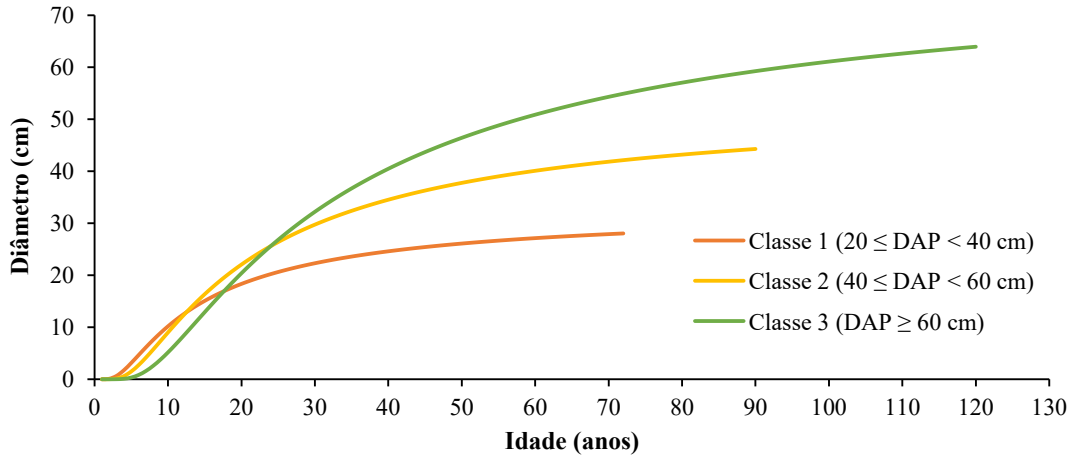


Figura 6. Curvas de crescimento ajustadas pelo modelo de Schumacher, para as três classes diamétricas de *Araucaria angustifolia*.

O crescimento de araucária sofreu efeitos negativos com a presença de óxido de nitrogênio (NO) na atmosfera, apresentando correlações negativas (significativas a 5% de probabilidade) enquanto o dióxido de nitrogênio (NO₂) teve efeito positivo. Entretanto, novamente as árvores que foram influenciadas pelas concentrações destes elementos na atmosfera foram as mais jovens (Canetti et al., 2017).

A. angustifolia mostrou indicativos de sofrer interferência da poluição em seu crescimento, mesmo em condições controladas de poluentes atmosféricos. Notaram-se diferentes intensidades de interferência, de acordo com a idade das árvores e do período em que se estabeleceram no município, considerando o início da sua exposição à poluição atmosférica. Essas informações são úteis para gestão de áreas florestais urbanas.

Considerações finais

A. angustifolia apresenta grande variação de incremento diamétrico, de acordo com as condições do local em que se estabeleceu. As fases de crescimento da espécie são bem definidas (juventude, maturidade e senescência) ao longo da vida. Apesar de ser uma espécie longeva, com limite biológico de vida e grande potencial de crescimento em diâmetro, normalmente atinge seus incrementos diamétricos máximos entre 60 cm e 70 cm, considerando árvores individuais. O incremento diamétrico responde às variáveis de espaçamento e luminosidade, indicando a importância do manejo para garantir o espaço vital para seu crescimento ótimo, apesar de outras condições ambientais ou características da própria árvore poderem afetar o incremento anual.

Observa-se que a espécie tem grande potencial para manejo em condições de floresta natural ou plantada, quando se considera o seu incremento em diâmetro.

Ressalta-se a importância de novas pesquisas que busquem aprofundar o conhecimento sobre a influência de fatores ambientais, como fertilidade e profundidade dos solos, altitude, disponibilidade hídrica, variações climáticas no crescimento de araucária, presença de poluição no ar, entre outros, para subsidiar o gestor florestal na tomada de decisão sobre o estabelecimento de plantios da espécie, visando à produção madeireira otimizada, em função das características de cada sítio.



Referências

- ASHBY, W. C.; FRITTS, H. C. Tree growth, air pollution, and climate near LaPorte, Ind. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 53, n. 3, 1972.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BARTH FILHO, N. **Monitoramento do crescimento e da produção em Floresta Ombrófila Mista com uso de parcelas permanentes**. 2002. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (ed.). **Mapa de solos do estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 74 p.
- BRACK, C. L. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 195-200, 2002.
- CANETTI, A. **Alteração da floresta urbana, poluição atmosférica e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em polo industrial**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; PÉLLICO NETTO, S. Life pattern of urban trees: a growth-modelling approach. **Urban Ecosystems**, v. 20, n 5, p. 1057-1068, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0659-0>.
- CUBAS, R. **Florística, estrutura e dinâmica em uma Floresta Ombrófila Mista no norte do estado de Santa Catarina**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná, Irati.
- CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O Ktze**. 2015. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR**. Curitiba, 1999. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098501>
- EBLING, A. A. **Dinâmica e projeção diamétrica em remanescente de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de São Francisco de Paula, RS**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v40i4.20328>.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1987. 467 p.
- HUSCH, B.; MILLER, I. C.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: John Wiley, 1982. 402 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 274 p.
- KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.
- KRUMM, F.; KULAKOWSKI, D.; RISCH, A. C.; SPIECKER, H.; BRÄNDLI, U. B.; BEBI, P. Stem exclusion and mortality in unmanaged subalpine forests of the Swiss Alps. **European Journal of Forest Research**, v. 131, p. 1571-1583, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0625-6>.
- KÜCHELMEISTER, G. Trees for the urban millennium: urban forestry update. **Unasylva**, v. 51, p. 49-55, 2000.
- MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Jose Olympio, 1981. 442 p.



- MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. F.; BRAZ, E. M.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 319-326, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.319>.
- MCLAUGHLIN, S. B. Effects of air pollution on forests. **Journal of Air Pollution Control Association**, v. 35, p. 512-534, 1985.
- MCLAUGHLIN, S. B.; PERCY, K. Forest health in North America: some perspectives on actual and potential roles of climate and air pollution. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 116, n. 1-2, p. 151-197, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1005215112743>.
- MOGNON, F. **Dinâmica do estoque de carbon como serviço ambiental prestado por um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no Sul do estado do Paraná**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- MUZIKA, R. M.; GUYETTEA, R. P.; ZIENLONKAB, T.; LIEBHOLD, A. M. The influence of O₃, NO₂ and SO₂ on growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* in the Carpathian Mountains. **Environmental Pollution**, v. 130, n. 1, p. 65-71, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.021>.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.
- PARANÁ. Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia, Florestas. **Atlas do Estado Paraná**. Curitiba, 1987. 73 p.
- PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR: 1995 a 1998**. 1999. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- PLAUBORG, K. U. Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 188, p. 65-75, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.022>.
- PORACSKY, J.; SCOTT, M. Industrial-area street trees in Portland, Oregon. **Journal of Arboriculture**, v. 1, n. 1, p. 9-17, 1999.
- RIVERA, H. **Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada**. 2007. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista**. 2016. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Paraná**. 2001. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 2, p. 170-174, 1989.
- SILVA FILHO, D. F. da.; PIZETTA, P. U. C.; ALMEIDA, J. B. S. A. D.; PIVETTA, K. F. L.; FERRAUDO, A. S. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 629-642, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500014>.
- SILVA, M. N. da. Indústria e produção do espaço urbano em Araucária. **Revista Raega: O Espaço Geográfico em Análise**, v. 12, 2006.
- STEPKA, T. F. **Modelagem da dinâmica e prognose da estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista por meio de matriz de transição e razão de movimentação**. 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.
- STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. Curitiba, 2012. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

WILCZYNSKI, S. The variation of tree-ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) affected by air pollution. **European Journal of Forest Research**, v. 125, n. 3, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-005-0106-2>.



12

**Sistemas de
produção com
araucária**

Maria Izabel Radomski (in memorian)
Denise Jeton Cardoso
Maria Augusta Doetzer Rosot
André Eduardo Biscaia de Lacerda
Marilice Cordeiro Garrastazú

Introdução

Dos produtos extraídos da Floresta Ombrófila Mista, a região Sul do Brasil responde por 100% da produção de nó de pinheiro araucária, 99,6% pela madeira de araucária e 90,9% pela produção de pinhão (IBGE, 2016). Desde 2007 a oferta de pinhão vem aumentando no mercado brasileiro. De acordo com o IBGE, o Brasil produziu em 2014 cerca de 8.777 t de pinhão, sendo o Paraná o principal Estado produtor da região Sul, com 3.582 t, seguido de Santa Catarina com 3.147 t, e do Rio Grande do Sul com 881 t (IBGE, 2016).

A partir da publicação da Resolução nº 278 de 24 de maio de 2001 (Conama, 2001), que determina ao Ibama a suspensão de autorizações para corte ou exploração de espécies ameaçadas de extinção, dentre elas *Araucaria angustifolia* (O. Ktze) (araucária), *Ocotea porosa* (Nees & Mart) Barroso (imbuia), *Ocotea pretiosa* (Nees) Mez (canela-sassafrás) e *Ocotea catharinensis* Mez (canela-preta), todas presentes na Floresta com Araucária, ficou vedado todo e qualquer aproveitamento comercial de madeira dessas espécies, com a suspensão dos planos de manejo florestal em execução (Pires, 2006). Portanto, a produção dessa tipologia florestal se restringe à exploração de bracingais (fornecimento de lenha) e aos produtos não madeireiros como erva-mate, plantas medicinais e ornamentais, frutas silvestres e pinhão (Santos; Müller, 2006).

Por outro lado, a Lei da Mata Atlântica, sancionada em 22 de dezembro de 2006 (Brasil, 2006), ressalta em seu artigo 7º, inciso II, que "... a proteção e utilização dos recursos desse bioma far-se-ão dentro de condições que assegurem o estímulo à difusão de tecnologias de manejo sustentável da vegetação". Dentre as condições de interesse social, uma série de práticas comuns na agricultura familiar se enquadra como passível de utilização, sem ferir as restrições impostas por essa Lei.

No caso da araucária, uma alternativa para suplantare as restrições legais e estimular o seu plantio é o desenvolvimento de Sistemas Agroflorestais (SAFs) que integrem a espécie aos sistemas tradicionais de produção dos agricultores familiares. Deste modo, é possível estimular o plantio da espécie para fins de produção madeireira e, ou de pinhões, contribuindo para a sua conservação. Os modelos propostos devem atender às questões básicas da agricultura familiar, como a otimização da mão de obra, a manutenção dos rendimentos das lavouras, a diversificação do uso da terra e da renda, a redução de custos e, preferencialmente, devem basear-se nos princípios agroecológicos, viabilizando a autossuficiência econômica e sustentabilidade ambiental da propriedade familiar.

No caso dos SAFs, o Código Florestal permite sua implementação pelo pequeno produtor, em Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP), apesar da ausência de procedimentos administrativos definidos. Para o agricultor familiar é detalhada na IN (Instrução Normativa) 05/2009 (Brasil, 2009), a forma de recuperação de APPs com SAF, embora, nesta IN, não hajam ainda procedimentos de regulamentação da produção oriunda destes sistemas. Mesmo sem a menção de SAF na Lei da Mata Atlântica, esses sistemas envolvem plantio de espécies nativas, enriquecimento ecológico, coleta de produtos não madeireiros e corte de vegetação secundária para subsistência (Ozelame da Silva; Steenbock, 2011).

Uma primeira análise dos dados disponibilizados pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR), efetuada pela Embrapa, demonstra que, na região Sul, em média, 28% da área dos imóveis rurais é destinada à preservação da vegetação nativa (Embrapa, 2018). Dadas as atuais restrições para a conversão do uso do solo e também à utilização das espécies arbóreas presentes nos fragmentos, abre-se uma oportunidade para a recuperação desses remanescentes, hoje bastante empobrecidos em sua composição florística e estruturalmente desequilibrados (Rosot, 2007). A propriedade rural, em especial a familiar, pode, além dos SAFs, conter outros sistemas de produção com espécies



arbóreas valiosas, tais como a araucária, baseados em plantios de enriquecimento sob cobertura ou mesmo a céu aberto, visando ao futuro aproveitamento econômico.

Assim, este capítulo tem por objetivo apresentar, discutir e difundir os resultados de diferentes sistemas de produção com araucária, implantados no Paraná e Santa Catarina. Além disso, pretende-se reforçar a importância de pesquisas que valorizem o uso da espécie *Araucaria angustifolia* por agricultores, visando à diversificação de atividades, ao incremento de renda, e à conservação ambiental, particularmente na pequena e média propriedade rural.

Sistemas de produção a céu aberto

Plantio puro de araucária

Embora existam plantios puros comerciais de araucária no sul do Brasil, que totalizavam 11.114 hectares em 2016 (IBÁ, 2017), são escassas as publicações sobre o seu desenvolvimento e sobre o regime de desbaste mais adequado para a espécie. O plantio puro da araucária nas áreas de sua ocorrência natural poderia ser mais uma boa alternativa de renda para o pequeno produtor rural, para a produção de sementes ou de madeira, conforme reportado por Cardoso et al. (2017) e relatado neste item resumidamente. Com o objetivo de aumentar o conhecimento sobre silvicultura e manejo de araucária em plantio puro, realizou-se a medição de árvores em um plantio não experimental, na Estação Experimental de Rio Negro, da Universidade Federal do Paraná. A área do plantio totaliza 0,92 ha e foi estabelecida em 2006, tendo sido plantadas sementes pré-germinadas, em espaçamento de 3 m x 3 m (Figura 1). As medições ocorreram aos oito anos de idade e a amostragem considerou oito parcelas de área variável, que correspondem a 51% da área de plantio. Nas parcelas foram medidos o diâmetro à altura do peito (DAP) de todas as árvores, com fita métrica e a altura total em 60% dessas, com régua telescópica.



Fotos: Maria Augusta Doetzer Rosot

Figura 1. Plantio puro de araucária em Rio Negro, PR: vista parcial do plantio aos oito anos de idade (A); medição de altura aos sete anos de idade (B).

Os valores médios de DAP e de altura total foram 12,8 cm e 7,9 m, respectivamente, para 973 árvores por hectare e área basal de 12,5 m² ha⁻¹, o que resultou em um volume de 68,8 m³ ha⁻¹ e um incremento médio anual de 8,6 m³ ha⁻¹. Aos 10 anos de idade, um levantamento expedito apontou um aumento de área basal em 60% (20 m² ha⁻¹). Na ocasião, observou-se que as copas das árvores começavam a competir por espaço e luminosidade, sugerindo a necessidade de desbaste neste ano ou aos 11 anos, no máximo.

A simulação de 122 regimes de desbaste, visando somente à produção de madeira, e tendo como critério de seleção dois indicadores econômicos - maior Valor Presente Líquido anualizado (VPLa) para uma taxa mínima de atratividade de 4% e maior taxa interna de retorno (TIR) – indicou como o regime mais rentável economicamente aquele que prevê a remoção de 80% das árvores no primeiro desbaste aos 10 anos, outros 20% aos 20 anos e corte raso aos 25 anos (156 árvores ha⁻¹). Este regime resultou em um VPLa de USD\$ 160,99 e TIR de 6,16% (Cardoso et al., 2017). Os mesmos autores relataram ainda que, na prática, não foi possível recomendar este regime, devido à ocorrência de ventos fortes na região do plantio, sendo considerado viável econômica e operacionalmente o regime com desbastes aos 10 e 18 anos, retirando 47% e 30% das árvores, respectivamente, e corte raso aos 25 anos. Esse regime resultou em VPL anualizado de USD\$ 79,05 e TIR de 5,17%.

O regime de desbastes selecionado deve propiciar 361,5 m³ ha⁻¹ de volume comercial de madeira ao final de 25 anos, sendo 67% de toras com diâmetro mínimo menor que 25 cm e 33% com diâmetro mínimo superior a 25 cm. Isto representa um incremento médio anual em volume comercial de 14,5 m³ ha⁻¹, ao final da rotação. Embora esse valor seja, ainda, muito inferior ao obtido em florestas plantadas de *Pinus* spp., por exemplo, que alcançaram em 2016, um incremento médio anual de 30,5 m³ ha⁻¹ (IBÁ, 2017), o domínio da silvicultura e do melhoramento da espécie representa um desafio a ser vencido.

Araucária com erva-mate

Em Caçador, SC, em uma propriedade particular, parcialmente ocupada com cultivo agrícola e pastagem sob floresta nativa, foi observada uma área de 0,81 ha de floresta plantada de araucária com 24 anos de idade (Figura 2). O espaçamento é de 8,0 m x 9,0 m e o plantio foi por semeadura direta. Nas entrelinhas foi plantada erva-mate, que não apresentou um bom desenvolvimento. A medição de todas as árvores desta plantação indicou a presença de 123 árvores por hectare e mortalidade de 11,6% (Toniolo Junior et al., 2015), DAP mínimo, médio e máximo de 16,6 cm, 47,3 cm e 62,1 cm e altura mínima, média e máxima de 14,6 m, 19,6 m e 24,0 m, respectivamente,



Foto: Marilice Corderio Garrastazú.

Figura 2. Vista parcial da plantação de araucária aos 24 anos de idade e erva-mate nas entrelinhas.

aos 24 anos de idade. Não foram realizados desbastes e nem poda até essa idade, pois o objetivo é a produção de pinhões. Ainda assim, o espaçamento esparsu propiciou o crescimento anual constante em diâmetro, conforme observado na Figura 3, em uma das árvores colhidas para a análise de tronco.



Foto: Maria Augusta Doetzer Rosol.

Figura 3. Anéis de crescimento na base do tronco de uma das árvores de araucária coletadas para a análise do crescimento em diâmetro.

Sistemas agroflorestais com araucária

Os resultados aqui apresentados referem-se a três modelos de sistemas implantados em uma área de aproximadamente 12 hectares, na Estação Experimental Embrapa Caçador (EEEC), conforme Figura 4, cujo histórico de uso remete à agricultura em sistema de plantio direto, por mais de 30 anos. Em 2011, após a interrupção do uso por agricultura, foram implantados diferentes sistemas de produção, incluindo, além da araucária, a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), espécies frutíferas (Tabela 1), aroeira (*Schinus terebinthifolius* var. *acutifolius* Engl.) e noz-pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], em meio a culturas agrícolas sazonais.



Composição: Maria Izabel Radomski

Figura 4. Visualização da área ocupada por sistemas agroflorestais com araucária, na Estação Experimental Embrapa Caçador (EEEC), em 2018, sobrepostos a imagens disponíveis no Google Earth.

O preparo do solo para os plantios foi efetuado a partir da roçada mecanizada e abertura de linhas, com uso de escarificador. As mudas foram produzidas a partir de sementes coletadas na propriedade e arredores, e preparadas em sacos plásticos de 30 cm de altura, usando-se substrato contendo solo e composto de resíduos vegetais. As mudas arbóreas foram plantadas com cerca de 20 cm de altura, em covas amplas (50 cm x 50 cm) com hidrogel e adubação química de cobertura. Periodicamente, fez-se o controle de formigas cortadeiras pelo uso de iscas químicas, coroamento próximo às mudas e roçada mecânica nas entrelinhas.

Três modelos de sistemas de produção a céu aberto foram introduzidos na EEEC e são descritos a seguir.

Sistema 1 – Araucária com bracatinga

Nesse sistema o plantio da araucária e da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) foi efetuado em linhas alternadas. O espaçamento utilizado foi 6,0 m x 3,0 m para a araucária e 6,0 m x 1,5 m para a bracatinga (Figura 5). A densidade de plantio da araucária nesse modelo é de 555 árvores ha⁻¹ e da bracatinga, 1.111 árvores ha⁻¹.

Fotos: Maria Izabel Radomski



Figura 5. Vista do interior do sistema agroflorestal de araucária com bracatinga, aos cinco anos de idade.

Sistema 2 - Araucária com frutíferas

Nesse sistema o plantio da araucária e das frutíferas foi efetuado na mesma linha. O espaçamento utilizado foi 6,0 m x 9,0 m para a araucária, com o plantio das frutíferas (Figura 6), entre as árvores de araucária no maior espaçamento. A densidade de plantio da araucária e das frutíferas neste modelo é de 222 árvores ha⁻¹.

Foram plantadas sete espécies frutíferas nativas da região, sendo uma da família Annonaceae e seis Myrtaceae (Tabela 1), cujas mudas foram produzidas a partir de matrizes locais.

Junto às covas da araucária foi efetuada a semeadura de bracatinga-de-campo-mourão (*Mimosa flocculosa* Burkart), uma leguminosa arbustiva nativa (Figura 7), com ciclo mais curto de vida, três a seis anos. É utilizada, principalmente, para a recuperação de áreas degradadas e sombreamento de outras espécies. Sua madeira também pode ser utilizada pelos agricultores para a produção de cabo para ferramentas e para lenha.

Fotos: Maria Izabel Radomski



Figura 6. Vistas do sistema araucária com frutíferas, aos quatro anos de idade.

Tabela 1. Espécies plantadas nos sistemas agroflorestais de araucária com frutíferas, na EEEEC (Estação Experimental Embrapa Caçador).

Família	Nome científico	Nome popular
Annonaceae	<i>Rollinia rugulosa</i> Schldtl	Ariticum
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) O. Kuntze	Pinheiro, araucária
Fabaceae	<i>Mimosa flocculosa</i> Burkart	Bracatinga de campo-mourão
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O. Berg	Guabirova
Myrtaceae	<i>Eugenia florida</i> DC.	Guabijú
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cerejeira, murta
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess	Uvaia
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitanga
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Araçá

Fotos: Maria Izabel Radomski



Figura 7. Aspecto da araucária crescendo ao pé da bracatinga-de-campo-mourão, aos quatro anos de idade.

Sistema 3 – Renques de araucária com bracatinga

Foram estabelecidos 16 renques compostos pelo plantio de araucária, no espaçamento 16,0 m x 3,0 m, e bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), no espaçamento 16,0 m x 1,5 m (Figuras 8 e 9). A densidade de plantio da araucária é de 125 árvores ha⁻¹ e a da bracatinga, 208 árvores ha⁻¹.

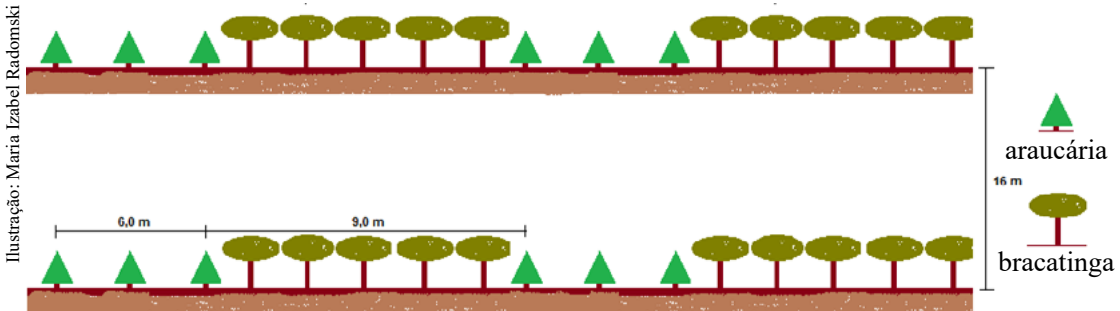


Figura 8. Esquema de plantio dos renques de araucária com bracatinga.

Fotos: Maria Izabel Radomski



Figura 9. Vista do sistema agroflorestal com os renques de araucária e bracatinga, aos quatro anos de idade.

No sistema 3 vem ocorrendo o cultivo de culturas de verão, predominantemente soja (*Glycine max* L.) e condução de azevém (*Lolium multiflorum* L.) ressemeado naturalmente na maioria dos entre renques, que também possuem plantios de noz-pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] e goiaba-serrana [*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret] (Figura 10).

Fotos: Maria Izabel Radomski



Figura 10. Vista dos plantios de goiaba-serrana (A), noz-pecan (B) e soja (C) entre renques de araucária e bracatinga, aos seis anos de idade.

Avaliações pós-plantio

No terceiro ano de idade (2015), nos sistemas 1 e 3, foi efetuado o primeiro desbaste da bracatinga, retirando-se as árvores dominadas, em senescência, e mortas.

A coleta de dados para a avaliação censitária do crescimento da araucária foi conduzida em 2013, 2014, 2016 e 2018. Nas três primeiras ocasiões mediu-se a altura total de todas as plantas e em 2018, além dessa variável, mediu-se também o diâmetro à altura do peito (DAP) de todas as plantas. Para o cálculo das médias, máximas e mínimas foram desconsiderados os indivíduos dos replantios efetuados após 2014.

Coletas de solo à profundidade de 0-10 cm foram realizadas em 2012, com 18 amostras representando a área total de plantio e, em 2017, em cada um dos SAFs, para avaliação de alterações nas características químicas, em função do tipo de cobertura.

Análise dos solos

A área do sistema 2 e a porção superior e média do Sistema 3 caracterizam-se pela ocorrência de NITOSSOLO BRUNO Distroférico típico textura argilosa relevo suave ondulado a ondulado (NBd1), enquanto nas áreas do Sistema 1 e porção inferior do Sistema 3 ocorre o CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico textura argilosa relevo suave ondulado a ondulado (CXbd1) (Figura 11).

Na área do sistema 1, no preparo e ao longo do plantio, foi observada a presença de pedregosidade no solo (Figura 12).

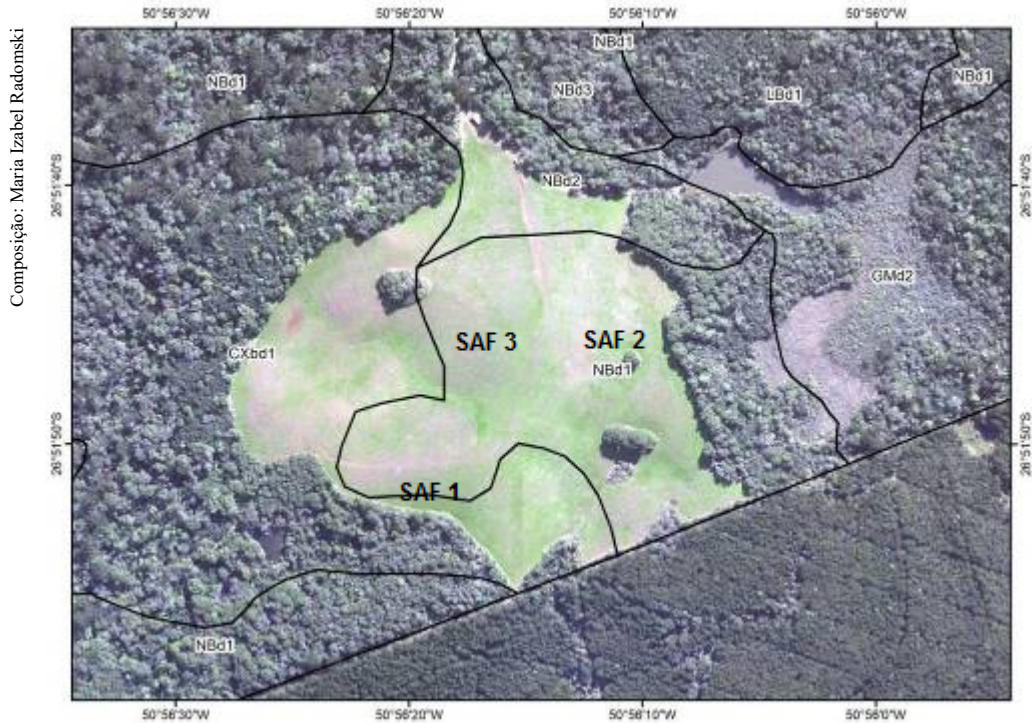


Figura 11. Classes de solos da área dos sistemas com araucária, sobrepostas a imagens satelitárias disponíveis no Google Earth.



Figura 12. Presença de pedregosidade em área de Cambissolo Háplico, no Sistema 1, em setembro de 2011.

Não houve mudanças significativas no solo cinco anos após a implantação dos sistemas com araucária (Tabela 2). O solo inicialmente mostrava-se com elevada saturação de bases (V%) em função da realização de calagens sistemáticas e uso de adubos solúveis para a realização dos cultivos anuais.

As variações observadas estão relacionadas ao relevo (teores de argila, silte e areia) e ao manejo dado às áreas. Neste sentido, observou-se um pequeno aumento no teor de carbono (CT) e nitrogênio (NT) nos três sistemas de produção, provavelmente devido à deposição de serapilheira da bracatinga e pelo acúmulo do material resultante das roçadas executadas em todas as áreas até o estabelecimento completo das mudas, o que ocorreu até o quarto ano do plantio.

Tabela 2. Caracterização química do solo sob diferentes coberturas antes e após a implantação dos sistemas.

Amostra	pH CaCl ₂	cmolc dm ⁻³					T
		Al ⁺³	H + Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	
Ano do plantio (2012)	5,81	0,07	5,37	12,6	1,3	0,44	19,7
..... Cinco anos após o plantio (2017)							
Araucária com bracatinga	5,37	0,03	4,53	10,7	2,2	0,22	17,7
Araucária com frutíferas	5,10	0,00	6,50	8,80	2,1	0,40	17,8
Renque araucária com bracatinga	5,07	0,09	7,33	8,00	2,7	0,37	18,4

Amostra	P mg dm ⁻³	%				Argila	Silte	Areia
		NT	CT	V	m			
Ano do plantio (2012)	3,6	0,2	4,2	72	0,6	607	370	23
..... Cinco anos após o plantio (2017)								
Araucária com bracatinga	2,2	0,4	4,8	74	0,0	595	342	63
Araucária com frutíferas	2,6	0,4	4,4	63	0,4	681	285	35
Renque araucária com bracatinga	2,6	0,4	5,0	60	1,0	700	269	31

Reissmann e Wisniewski (2005) observaram que a serapilheira armazena grande quantidade de nutrientes, sendo que parte deles pode permanecer imobilizada se a decomposição da biomassa for muito lenta. Baggio e Carpanezzi (1997) observaram que, na serapilheira de bracatingais nativos ocorrem maiores conteúdos de N, K, Ca, Mg e P, em relação à porção lenha e galhos. Boa parte da serapilheira é constituída por folhas, frutos, flores e ramos finos, e sua deposição contínua contribui para a cobertura e a incorporação gradativa de nutrientes ao solo. Tais observações devem explicar o fato de que, entre os sistemas de produção avaliados, o sistema araucária com bracatinga apresentou uma tendência de maior acumulação do elemento Ca, provavelmente em virtude da maior densidade inicial da bracatinga, o que pode ter influenciado a maior deposição de galhos e folhas, ricos neste elemento mineral.

Sobrevivência

Dentre os principais problemas encontrados logo após o plantio, destacou-se o ataque de formigas carregadeiras. Entretanto, a maior dificuldade enfrentada foi a mortalidade de mudas em função de secas prolongadas e geadas. Em especial quanto à seca, os eventos ocorridos nos anos de 2010, 2011 e 2012 se destacaram como fora da variação esperada para os últimos 57 anos (período entre 1961 e 2018). A média de chuvas para o mês de novembro é 142,1 mm, tendo-se verificado em Caçador, totais para esse mês de 58,8 mm, em 2011 (quinto menor valor) e 12,6 mm em 2012 (menor valor da série histórica) ou para o mês de agosto de 2012, cuja precipitação pluviométrica foi 2,4 mm contra uma média de 114,5 mm (também menor valor da série histórica) (Figura 13).

Mesmo adotando-se medidas adicionais no plantio, para minimizar os efeitos da seca como o uso de hidrogel, a redução drástica da precipitação pluvial foi um fator determinante para a mortalidade e para o baixo desenvolvimento inicial das mudas, sendo necessária a realização de replantios até 2013. Observou-se que a sobrevivência das mudas de araucária foi, de forma geral, inferior à das outras espécies, independentemente do sistema. O plantio de araucária em renques resultou em maior mortalidade, plantas secas e ataque de formigas, tendência esta consideravelmente menor quando em sistemas mistos com menor espaçamento entre as plantas (Tabela 3).

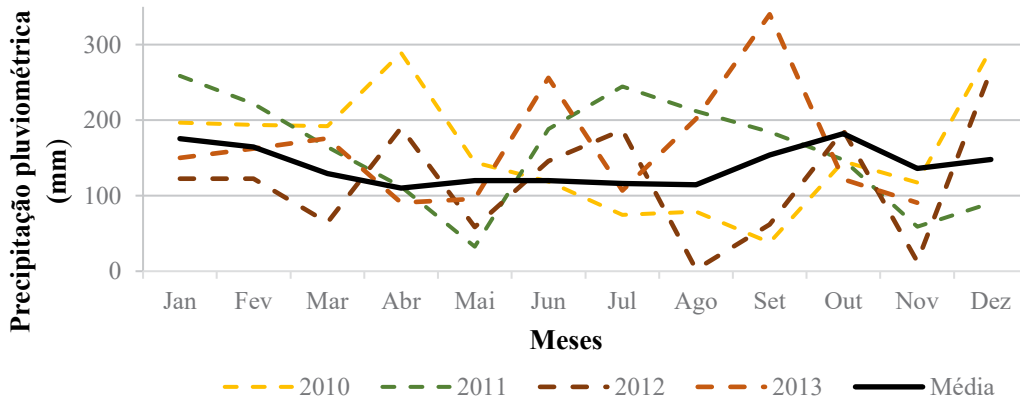


Figura 13. Precipitação pluviométrica no município de Caçador, no período 2010-2013.

Fonte: Estação Meteorológica da Epagri/Caçador.

Tabela 3. Sobrevivência, número percentual de plantas atacadas por formigas, secando e com rebrota, aos nove meses após início dos plantios, para araucária, bracatinga e frutíferas (Caçador, julho/2012).

SAF	Espécie	%			
		Sobrevivência	Formiga	Secando	Rebrotando
Araucária com bracatinga	Araucária	71,63	0,16	3,64	-
	Bracatinga	87,86	1,29	0,17	-
Araucária com frutíferas	Araucária	70,75	-	3,90	-
	Frutíferas	76,70	1,21	1,36	1,81
Renque de araucária com bracatinga	Araucária	55,22	1,24	8,07	1,24
	Bracatinga	75,08	2,08	1,04	2,08

Acompanhamento do crescimento

Nas primeiras avaliações, a altura média da araucária nos sistemas 1, 2 e 3 não apresentou diferenças significativas. Com um ano de idade, em 2013, o sistema 2 apresentou valor médio de 0,5 m, enquanto para os sistemas 1 e 3 os valores foram iguais a 0,45 m. Aos dois anos de idade, em 2014, os sistemas 2 e 3 apresentaram altura média de 0,8 m, enquanto para o sistema 1 a média foi 0,6 m (Figura 14). Este baixo crescimento inicial da araucária provavelmente deveu-se à dificuldade de superação da raiz pivotante a uma camada de compactação do solo em torno dos 15 cm de profundidade, identificada por meio de tradagem ao longo da área. Cabe lembrar que o local destes plantios foi utilizado para agricultura mecanizada durante mais de 20 anos, além do fato de os solos serem predominantemente argilosos, intensificando a formação do denominado “pé de grade”.

A alta resistência à penetração em solos compactados limita a extensão da raiz através da camada compactada, reduzindo o seu crescimento em profundidade e, conseqüentemente, comprometendo o crescimento da parte aérea. Segundo Móseno e Dillenburg (2004), em condições naturais, o sucesso de mudas de araucária na exploração de camadas superiores do solo, quando há a presença de camada de compactação superficial, depende da sua habilidade em competir com espécies que apresentam sistema radicular superficial e no grau de disponibilidade de água no solo. Como citado anteriormente, no ano de implantação e um ano após, houve baixa ocorrência de chuvas na região de Caçador que, associada à compactação e textura argilosa do solo, comprometeu o crescimento inicial dos sistemas de forma generalizada.

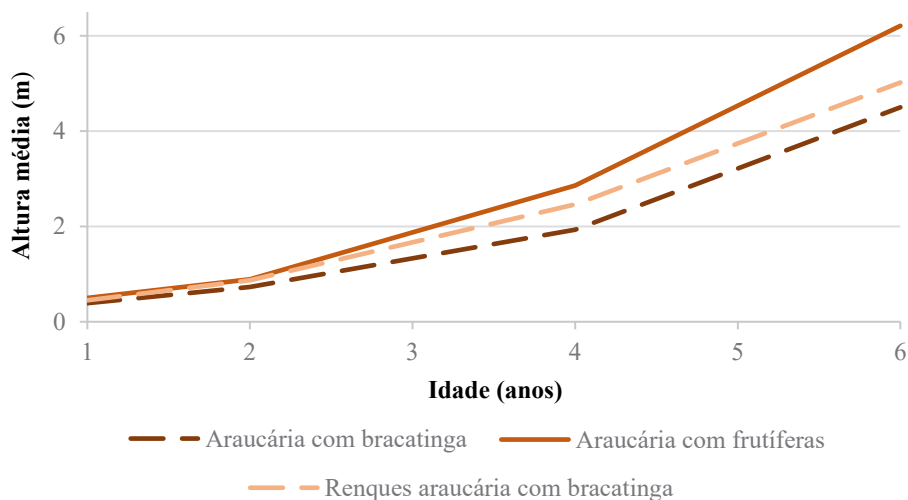


Figura 14. Evolução da altura média da araucária nos diferentes sistemas de produção.

A partir dos quatro anos de idade, em 2016, observou-se maior distinção do crescimento em altura da araucária entre os sistemas, mais evidenciado aos seis anos de idade, em 2018 (Figura 15).

O sistema 2, araucária com frutíferas distinguiu-se dos demais aos seis anos, com altura média de 6,2 m, contra 5,02 m no sistema 3, renque de araucária com bracatinga e 4,5 m no sistema 1, araucária com bracatinga (Figura 16). Uma possível explicação para este resultado no sistema 2, araucária com frutíferas, é o efeito do sombreamento da bracatinga-de-campo-mourão semeada ao lado das araucárias. Também se observou maior crescimento em DAP no sistema 2, araucária com frutíferas (11,6 cm), em relação aos outros dois sistemas (4,56 cm e 8,5 cm).

Um maior investimento no crescimento em altura, em ambientes sombreados, é uma resposta bastante comum, relatada em vários trabalhos (Cancian; Cordeiro, 1998; Poorter, 1999; Ferrer; Dillenburg, 2000; Jurado et al., 2006), inclusive para a araucária (Inoue; Torres, 1980). Espécies que apresentam caules de pequeno diâmetro, juntamente com pouco investimento na ramificação da parte aérea, são capazes de se alongar mais rapidamente para um determinado regime de irradiância, devido às baixas quantidades de massa requeridas por unidade de crescimento em altura (Takahashi, 1996). O investimento inicial pronunciado no alongamento vertical do caule e uma reduzida ramificação da parte aérea são considerados respostas fenotípicas adaptativas (Poorter, 1999; Niinemets et al., 2006). De fato, foi possível observar este alongamento em algumas araucárias sombreadas pela bracatinga-de-campo-mourão, o que, entretanto, não afetou o diâmetro médio.

Um possível significado ecológico do maior investimento inicial em altura apresentado pela espécie, quando cultivada sob sombra, consistiria em sobrepujar mais rapidamente a vegetação concorrente, o que poderia garantir o seu sucesso regenerativo (Inoue; Torres, 1980). No entanto, Ryser e Eek (2000) salientam que o aumento no crescimento em altura pode ser vantajoso como resposta a um sombreamento de curto prazo. Este seria o caso da bracatinga-de-campo-mourão que, por ser uma espécie arbustiva de ramagem pouco densa e de ciclo curto de vida, oferece as condições ideais para o crescimento inicial da araucária.

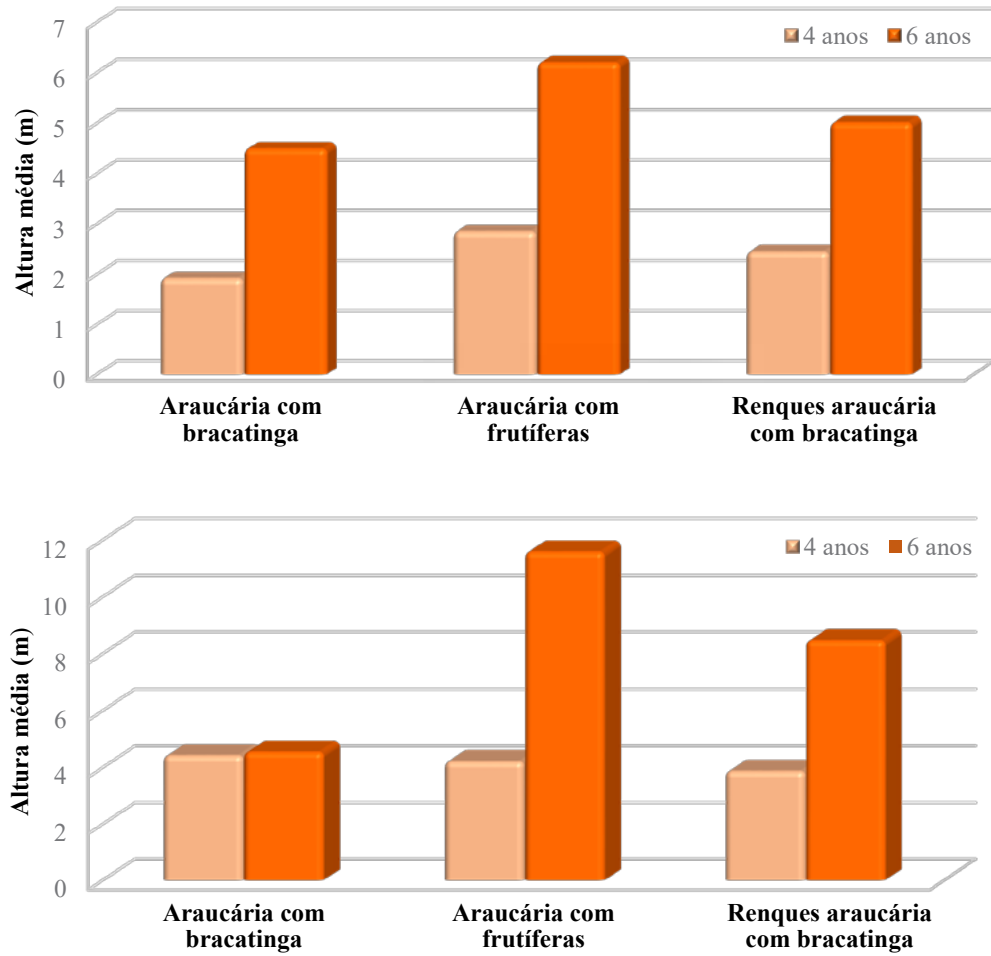


Figura 15. Altura e DAP médio da araucária aos quatro e seis anos de idade, nos diferentes sistemas de produção.

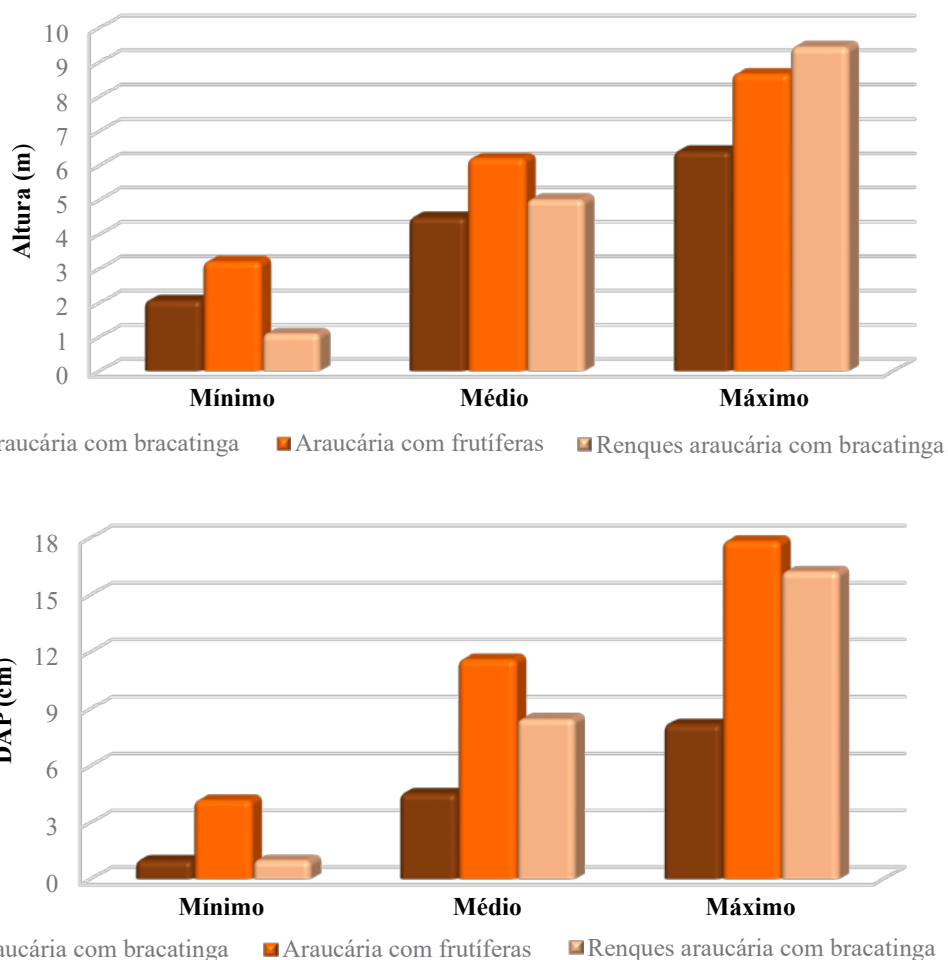


Figura 16. Altura e DAP médio, mínimo e máximo para indivíduos de araucária, nos diferentes sistemas de produção, aos seis anos de idade (2018).

Sistemas de produção sob cobertura

Os exemplos apresentados neste item são oriundos de iniciativas de silvicultura de araucária sob dossel de floresta natural, com objetivos distintos. Um deles visa gerar alternativa de renda a partir de produção de pinhão e folhas de erva-mate; o outro se destina à recuperação de floresta natural. Nenhum deles foi idealizado como experimento ou modelo de sistema que possa ser comparado com outros plantios. Entretanto, consistem em experiências que poderiam ser repetidas ou aperfeiçoadas e que refletem a realidade desse tipo de iniciativa silvicultural na pequena propriedade.

Araucária com erva-mate

Em uma propriedade de agricultor familiar em Bituruna, PR, foram medidas árvores de araucária plantadas no espaçamento aproximado a 5 m x 5 m, em área de 0,65 ha, sob cobertura de dossel de floresta secundária. O plantio foi realizado por semeadura direta, em junho/julho de 2005, pelo proprietário da área e a medição ocorreu em julho de 2014, portanto aos nove anos de idade. O proprietário informou que o objetivo do plantio seria a produção de pinhão, não havendo a intenção de conduzi-lo como um experimento de silvicultura. Na época da medição já haviam

alguns fustes de árvores bifurcadas marcados para desbaste. Também haviam árvores de araucária de regeneração natural e algumas árvores adultas, de porte pequeno e médio, de outras espécies, crescendo em meio ao plantio. Não fizeram parte da análise as pequenas árvores de araucária nativa que correspondiam a 11 árvores por hectare e também uma árvore quebrada. Se o plantio fosse ocupado completamente com árvores no espaçamento 5 m x 5 m, a densidade seria de 400 árvores por hectare. No entanto, devido ao espaçamento irregular e à mortalidade, foi observado apenas o correspondente a 162 árvores por hectare.

Aos nove anos, o DAP médio foi 11,6 cm, (circunferência à altura do peito = 36,5 cm, (Figura 17), a altura média foi 7,2 m, e o volume médio por fuste igual a 0,0625 m³, representando um volume de 15,1 m³ ha⁻¹, sendo 1,68 m³ ha⁻¹ planejados para desbaste. Não se dispõe de informações de plantios de araucária no mesmo espaçamento, para comparativos. No entanto, em plantio de espaçamento 3 m x 3 m em Rio Negro, PR, Cardoso et al. (2017) relataram médias de DAP e altura, de 12,2 cm e 7,9 m, respectivamente, aos sete anos de idade, portanto dois anos mais jovem, em conformidade com o que foi obtido no espaçamento mais amplo. Entretanto, o volume médio por árvore neste mesmo estudo foi 0,0707 m³, 13% superior ao obtido no espaçamento 5 m x 5 m (irregular, devido à ocorrência de árvores da floresta natural) e dois anos mais jovem. Tal observação permite inferências sobre os efeitos do espaçamento no crescimento e na forma das árvores, ainda que, em áreas distantes uma da outra. Plantios mais adensados como esse no espaçamento 3 m x 3 m, tendem a gerar competição entre as árvores mais cedo e possibilitam a formação de fustes ligeiramente mais cilíndricos (Scolforo; Figueiredo Filho, 1998), portanto com maior volume de madeira que os fustes de árvores de mesmo DAP conduzidas em plantios menos densos.

Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot



Figura 17. Medição de CAP (circunferência à altura do peito) de árvore representativa da média populacional de araucária no plantio sob cobertura parcial.

Araucária com imbuia

Uma área remanescente de Floresta Ombrófila Mista com cerca de 0,3 ha, localizada na EEEC, e atingida por fogo, foi recuperada por meio do plantio de sementes e mudas de araucária e imbuia (Rosot et al., 2007a). A distribuição das espécies sobre a área ocorreu de forma sistemática, com o plantio em linhas, respeitando-se o espaçamento de 5 m x 5 m entre indivíduos da mesma espécie (Figura 18). Foram plantados na área 120 indivíduos de araucária e 96 de imbuia [*Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso], somando-se aos 35 indivíduos adultos remanescentes. Quando esses estavam localizados no mesmo lugar do grid que deveria receber uma plântula, optou-se por manter apenas o indivíduo remanescente, sem efetuar plantio.

Ilustração: Maria Augusta Doetzer Rosot

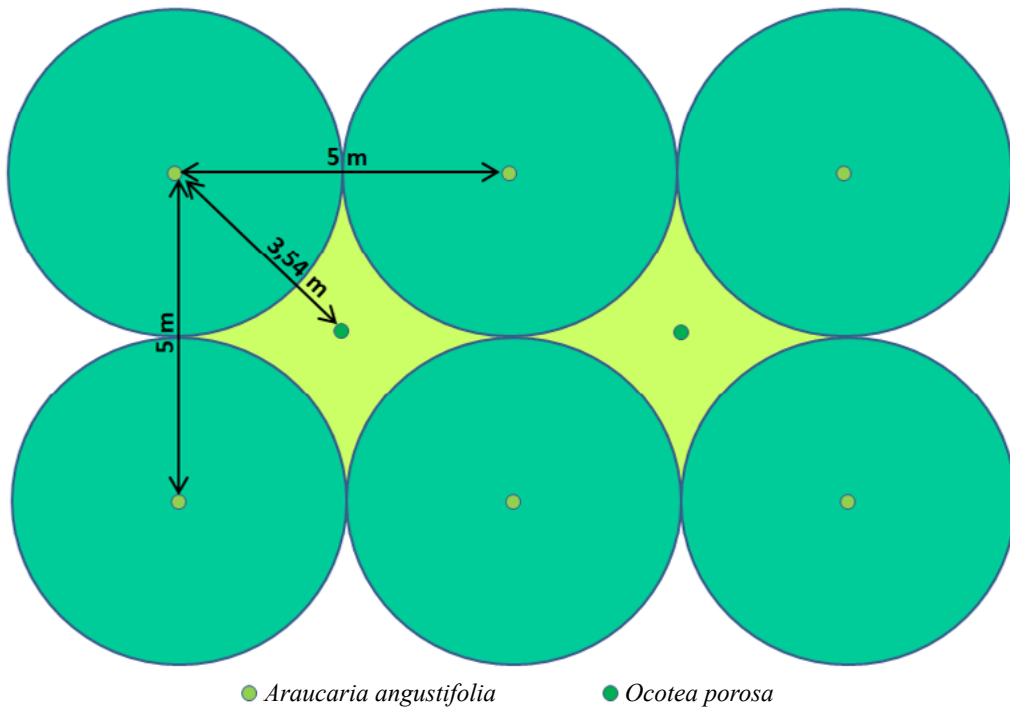


Figura 18. Desenho esquemático da distribuição das espécies araucária e imbuia em plantio de recuperação de área atingida por fogo, em remanescente de FOM.

Para a araucária, inicialmente, efetuou-se o plantio por sementes (três sementes por cova). Entretanto, logo após o plantio e nos cinco anos subsequentes, foi efetuado replantio com mudas devido a repetidos ataques por *Cebus apella nigrilus* (macaco-prego) e pequenos roedores às plântulas recém-germinadas. Para a imbuia, o plantio foi efetuado por meio de mudas, sendo constatados, inicialmente, alguns danos causados por formigas e lagartas e, posteriormente, por besouros serra-pau (*Oncideres* sp.). Como manutenção do plantio, executou-se, ao menos uma vez por ano, a roçada com foice de indivíduos herbáceo-arbustivos e coroamento das mudas por meio de capina manual, para evitar a competição com as plantas daninhas.

Na Tabela 4 é mostrada a evolução do plantio entre a implantação e sete anos de idade, em termos de números de árvores. Também são apresentadas a área basal e altura total aos sete anos do plantio, considerando não somente as árvores plantadas, mas todo o sistema contendo as árvores já existentes no local, remanescentes após o fogo, e também os ingressos observados ao longo do tempo.

Embora o incremento médio anual em área basal e diâmetro não possa ser avaliado em função das diferentes idades das árvores de araucária, devidas aos inúmeros replantios, aquelas com o melhor desenvolvimento em altura atingiram aproximadamente 1 m no primeiro ano. Aos cinco anos do plantio – considerando-se os replantios iniciais – a sobrevivência da araucária foi 86,2%, tendo o indivíduo mais alto do plantio atingido a altura total de 3,75 m. Entretanto, aos sete anos de idade (Figura 19), 53% das plantas ainda não haviam atingido 1,3 m e, portanto, não tiveram sua área transversal calculada, o que se refletiu na baixa área basal apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Número de árvores e área basal (extrapolados para hectare) e altura média dos indivíduos arbóreos do sistema de produção em plantio consorciado de araucária e imbuia, aos sete anos de idade.

Espécie	N ha ⁻¹		G (m ² ha ⁻¹)	h _{total} média (m)
	Inicial	Aos 7 anos		
Araucária	390	364	0,18	1,9
Imbuia	312	303	0,28	2,4
Total plantadas	702	667	0,46	2,1
Total remanescentes	114	91	28,38	27,4
Ingressos araucária	-	49	0,02	2,1
Ingressos outras espécies	-	29	2,87	10,8
Total ingressos	-	78	2,90	5,3
Total geral	816	836	31,73	

N ha⁻¹ = número de árvores por hectare; G = área basal; htotal = altura total.



Figura 19. Aspecto geral do plantio consorciado de araucária e imbuia aos sete anos, efetuado em área degradada por fogo.

Ressalta-se o fato de que esse sistema de produção proporcionou, em sete anos, o ingresso de cerca de 50 indivíduos de araucária por hectare e cerca de 30 de outras espécies. Medições efetuadas anualmente, durante dez anos na mesma área, porém em área de floresta com dossel mais fechado, com menos incidência de luz, não captaram a ocorrência de regeneração natural de araucária (Beckert et al., 2014). Por outro lado, a redução no número de remanescentes se deveu à mortalidade ainda devida ao fogo e seus efeitos e à ocorrência de duas fortes tempestades com vento na região, que derrubaram árvores mais antigas (Beckert, 2015).

Plantio de enriquecimento com araucária

Neste item são descritos os resultados de um plantio de enriquecimento de araucária efetuado a partir de mudas de pequeno e grande portes - assim classificadas em função do tempo de permanência em viveiro (um e dois anos, respectivamente) - em um fragmento alterado de Floresta Ombrófila Mista. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da presença de macaco-prego sobre a sobrevivência das mudas e analisar quantitativamente o crescimento em altura e DAP de mudas de grande e pequeno portes, ao longo do tempo.

A área de estudo localiza-se na Estação Experimental da Embrapa (EEEEC), em um total de 1,44 ha, com sub-bosque dominado por taquara (*Merostachys* spp.). Quanto ao tipo de solo, predomina a associação de Nitossolo Bruno Distrófico típico A+ inclusão do Cambissolo Háptico Tb Distrófico A (Kurasz, 2005).

O experimento foi instalado em setembro de 2011, com nove parcelas, cada uma composta por oito linhas e oito filas, no espaçamento de 5 m x 5 m entre as mudas, totalizando 64 mudas por parcela. O experimento foi composto por 576 mudas, sendo 288 pequenas (20 cm a 25 cm de altura) e 288 grandes (40 cm a 50 cm de altura). Das nove parcelas, três continham apenas mudas grandes (plântio puro), três apenas mudas pequenas (plântio puro) e as três restantes, mudas pequenas e grandes (plântio misto), dispostas alternadamente (Figura 20) (Rosot et al., 2017). Assim, as análises envolveram tanto o tipo de muda, grande ou pequena quanto o arranjo, plântio puro ou misto.

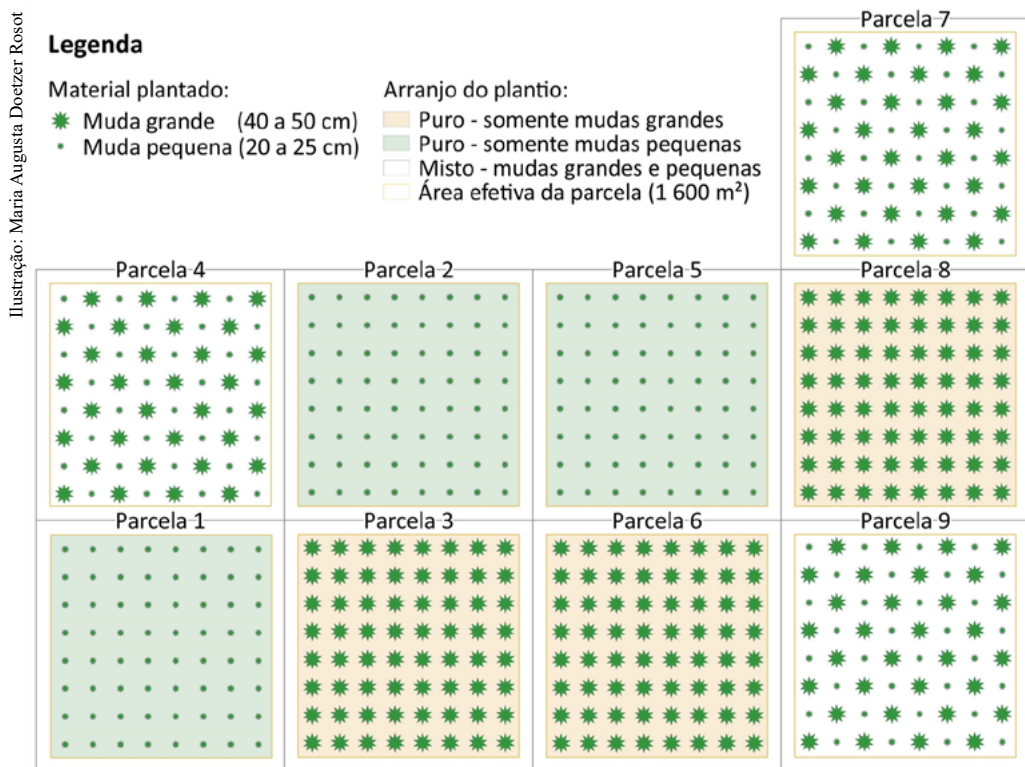


Figura 20. Desenho esquemático da distribuição das parcelas experimentais no campo.

A localização espacial de cada muda foi representada por pontos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), construído com a utilização do software QGIS, e os dados de campo foram progressivamente inseridos na respectiva tabela de atributos do SIG (Rosot et al., 2017).

No local do plântio observou-se baixa densidade de árvores remanescentes no dossel superior. O preparo da área incluiu a limpeza e roçada de herbáceas e retirada de taquaras. As covas (25 cm x 50 cm) foram abertas com broca mecânica. Nas parcelas foram utilizadas mudas produzidas em viveiro, com sementes oriundas da própria área de estudo, plantando-se uma muda por cova em todos os tratamentos.



Os recipientes empregados no viveiro foram sacos plásticos pretos de 7 cm (diâmetro) por 20 cm (altura) para mudas pequenas e de 15 cm por 30 cm para mudas grandes. Para ambos os tipos de mudas foi utilizado substrato de terra estéril. Na época do plantio as mudas apresentavam altura variando de 20 cm a 25 cm, no caso das mudas pequenas, e de 40 cm a 50 cm entre as mudas de maior porte (Figura 21). Não foram efetuadas podas das raízes. Foram aplicadas regas diárias e, em seguida, um processo de rustificação, com um tempo total de permanência em viveiro de um e dois anos para mudas pequenas e grandes, respectivamente (Rosot et al., 2017).

Os tratos culturais efetuados incluíram a limpeza nas linhas e coroamento das mudas. As operações anuais de manutenção do experimento incluíram roçadas seletivas de taquaras e trepadeiras que estivessem afetando as mudas e a poda de ramos do primeiro e segundo verticilos das araucárias mais altas (acima de 2,5 m de altura). Arbustos ou árvores de pequeno porte competindo diretamente por luz com os indivíduos do plantio foram roçados uma vez por ano. O replantio de mudas mortas ou arrancadas não foi realizado, para evitar a introdução de mais uma fonte de variação, representada pelas diferentes épocas e intensidades de replantio (Rosot et al., 2017).

O experimento foi acompanhado mensalmente dos quatro meses até os 36 meses de idade, com o objetivo de avaliar a sobrevivência e a taxa de predação pela fauna. Após este período foram efetuadas avaliações anuais de:

- **Sobrevivência:** considerou-se como mudas vivas todas as sadias, sem problemas fitossanitários e também mudas sobreviventes, mas com alguns sinais de clorose, apresentando algum problema fitossanitário ou deficiência nutricional. Como mudas mortas foram consideradas todas as plantas completamente secas ainda que em pé; as mudas arrancadas, no caso de ação predatória de animais silvestres, mas encontradas ao lado de suas covas, mortas, as plantas desaparecidas, possivelmente também predadas por ação de animais.
- **Altura total (em metros):** valor medido com régua telescópica da altura da base até o broto terminal.
- **Diâmetro à altura do peito (DAP) (em centímetros):** valor medido com paquímetro eletrônico a 1,30 m do solo.

Os resultados demonstraram que a ação da fauna local atingiu de forma expressiva o plantio de mudas pequenas, sendo responsável pela remoção de 37,50% delas no arranjo misto e 23,44% no plantio puro, contabilizando uma remoção média de 30,47% de todas as mudas pequenas plantadas na área. O mesmo não foi observado com relação às mudas de maior porte. Apenas uma dessas mudas, pertencente a uma parcela do arranjo puro, foi arrancada (0,26% do total de mudas grandes plantadas) (Rosot et al., 2017).

Até o quarto mês do plantio a fauna local removeu mais de 20% das mudas pequenas plantadas, culminando em uma perda de pouco mais de 30%, no 36º mês. Isso sugere uma tendência de estabilização, com uma ação da fauna mais expressiva apenas no período de adaptação das mudas no campo, considerando que a remoção da única muda de porte grande também ocorreu nos

Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot



Figura 21. Aspecto de muda do tipo grande após três meses da data do plantio, em área de sub-bosque onde a taquara foi cortada previamente ao plantio.

primeiros meses de plantio. A partir de então, as avaliações passaram a ser anuais e não se observaram mais mudas arrancadas ou com dano aparente causado por animais (Rosot et al., 2017).

Entretanto, independentemente dos tipos de mudas utilizadas, houve alteração da sobrevivência ao longo do tempo. Após os 36 meses, ainda observou-se mortalidade entre as plantas, em maior proporção para os indivíduos oriundos de mudas de pequeno porte. Em 2017, das 288 mudas de cada porte plantadas restaram 215 (75%) provenientes de mudas grandes contra apenas 121 (42%) oriundas de mudas pequenas (Figura 22).

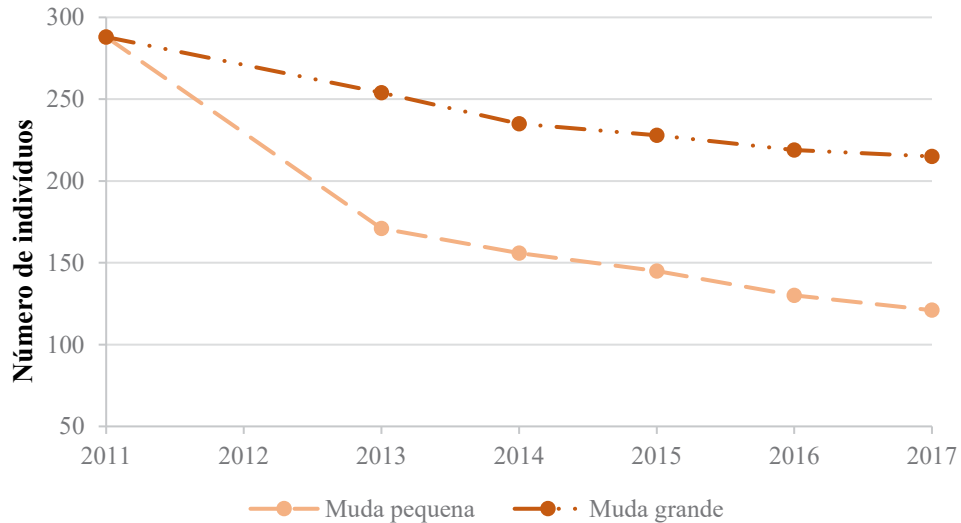


Figura 22. Número de indivíduos de araucária sobreviventes ao longo do tempo.

Pesquisas têm mostrado que populações de mamíferos, nativos ou exóticos, podem impactar substancialmente a sobrevivência, o crescimento e a regeneração de plântulas, tanto em formações naturais quanto em florestas plantadas (Stefano, 2005). No Brasil, a regeneração de araucária tem sido prejudicada por populações de animais silvestres predadores. Rosot et al. (2007b) relataram grandes danos causados pelo macaco-prego, tanto na semeadura direta quanto no plantio com mudas destinadas à recuperação de uma área de Floresta com Araucária atingida por fogo, pois os macacos arrancavam os pinhões e as plântulas de araucária para se alimentar da parte suculenta das sementes que se encontravam ainda unidas às plântulas pelo curto espaço de tempo, após a germinação. Esse mesmo padrão de comportamento foi descrito por Sanquetta e Mattei (2006), em uma área de regeneração de araucária com domínio de taquaras, onde os danos foram atribuídos a animais como catetos, cutias e outros roedores de menor porte.

Vários atributos morfológicos, como altura da parte aérea e diâmetro do colo, são frequentemente usados como indicadores de qualidade das mudas e preditores da resposta em campo, pois são relativamente fáceis de medir e correlacionam-se bem com o sucesso em campo (Jacobs et al., 2005; Li et al., 2011). Plantas maiores geralmente mostram melhores índices de sobrevivência (Tsakaldimi et al., 2013) quando comparadas a plântulas menores que possuem um sistema radicular menos desenvolvido, levando a uma absorção insuficiente de água e nutrientes, além de sofrerem um maior impacto devido à competição.



No caso da predação por macaco-prego, espécie característica da Mata Atlântica (Ludwig et al., 2005), e de outros animais predadores que dificultam a regeneração da araucária, o interesse não está na parte foliar, mas sim na semente que pode ser encontrada ainda conectada às plântulas jovens e que lhes serve como fonte de alimento. Desta maneira, quanto menor e mais jovem a plântula, maior é a probabilidade de que seja arrancada por mamíferos em busca de alimento. Em contrapartida, mudas mais bem desenvolvidas podem já não ser tão atrativas, pois não possuem mais reservas nutritivas na semente que originou a planta. Além disso, a tentativa de arrancar as mudas maiores pode não ser bem-sucedida, uma vez que estes animais são de porte médio, pesando entre dois (fêmeas) e três kg (machos) no caso dos macacos (Ludwig et al., 2005), não tendo a força necessária para arrancar uma muda de grande dimensão.

Para mudas com o mesmo tamanho das de pequeno porte utilizadas neste estudo, Sanquetta e Mattei (2006) encontraram um valor próximo (54,4%) ao aqui observado para a sobrevivência, enquanto Carvalho (1981) obteve 62,5% de sobrevivência, após um período de cinco anos, afirmando que esse percentual é regular para tal variável, uma vez que o resultado está de acordo com o obtido por Muniz (1948 citado por Carvalho, 1981), porém é quase duas vezes superior ao obtido por Fonseca et al. (1974 citado por Carvalho, 1981). Assim, pode-se concluir que se obtém mais êxito em campo com o plantio de mudas maiores em comparação com mudas de menor altura, considerando a soma da mortalidade natural e da predação pela fauna.

Em estudo realizado por Tsakaldimi et al. (2013) foi observado para diversas espécies, que as plântulas sobreviventes apresentavam altura, diâmetro do colo, bem como a relação altura/diâmetro significativamente maiores que as mudas que não sobreviveram, demonstrando que diâmetros iniciais maiores, no primeiro ano, resultaram em maiores taxas de sobrevivência no campo após dois anos de plantio. O mesmo pode ser observado no presente estudo, onde a sobrevivência das mudas de grande porte mostrou-se significativamente maior do que a sobrevivência das mudas menores, para a araucária. Isso corrobora a hipótese de que mudas mais desenvolvidas geralmente apresentam um melhor desempenho no campo do que mudas pequenas (Li et al., 2011), considerando mortalidade e arranquia de forma agregada.

O tamanho das mudas teve grande influência sobre o desenvolvimento da araucária. A diferença no crescimento entre mudas grandes e pequenas foi proporcional ao tamanho inicial das mudas, observando-se, ao longo do tempo, maiores incrementos em altura e DAP nos indivíduos provenientes de mudas de grande porte. O incremento médio anual em altura para mudas grandes foi de 0,68 cm enquanto que, para as mudas pequenas, foi apenas de 0,33 cm. Para o DAP, os incrementos médios anuais foram 0,73 cm e 0,24 cm para mudas grandes e pequenas, respectivamente (Figura 23). Muitos indivíduos entre as mudas pequenas apenas atingiram 1,30 m a partir dos três anos do plantio e, na média, apenas após os quatro anos de idade foi atingida a altura de medição do DAP.

Aos seis anos de idade, a altura média das mudas grandes foi 145% superior às mudas pequenas (Figura 24A). Para o DAP a diferença foi 143,4%, sendo que, neste caso, o valor máximo encontrado para os indivíduos provenientes de mudas de pequeno porte (4,51 cm) foi praticamente igual à média dos indivíduos provenientes de mudas de grande porte (4,14 cm) (Figura 24B).

Os resultados do presente estudo sugerem que o plantio de mudas de maiores dimensões (Figura 25) pode proporcionar maiores índices de sucesso no estabelecimento de povoamentos de araucária.

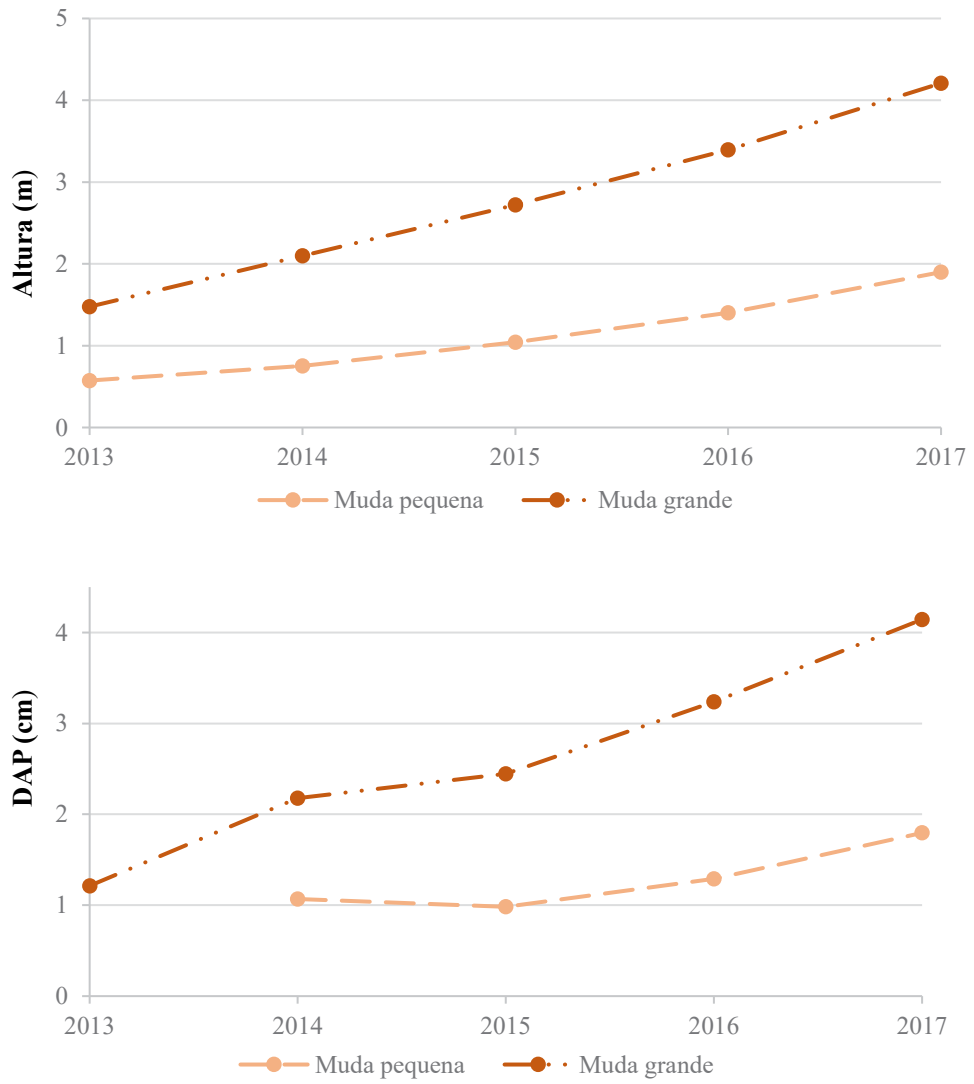


Figura 23. Médias de altura e DAP ao longo do tempo, em função do tamanho das mudas.

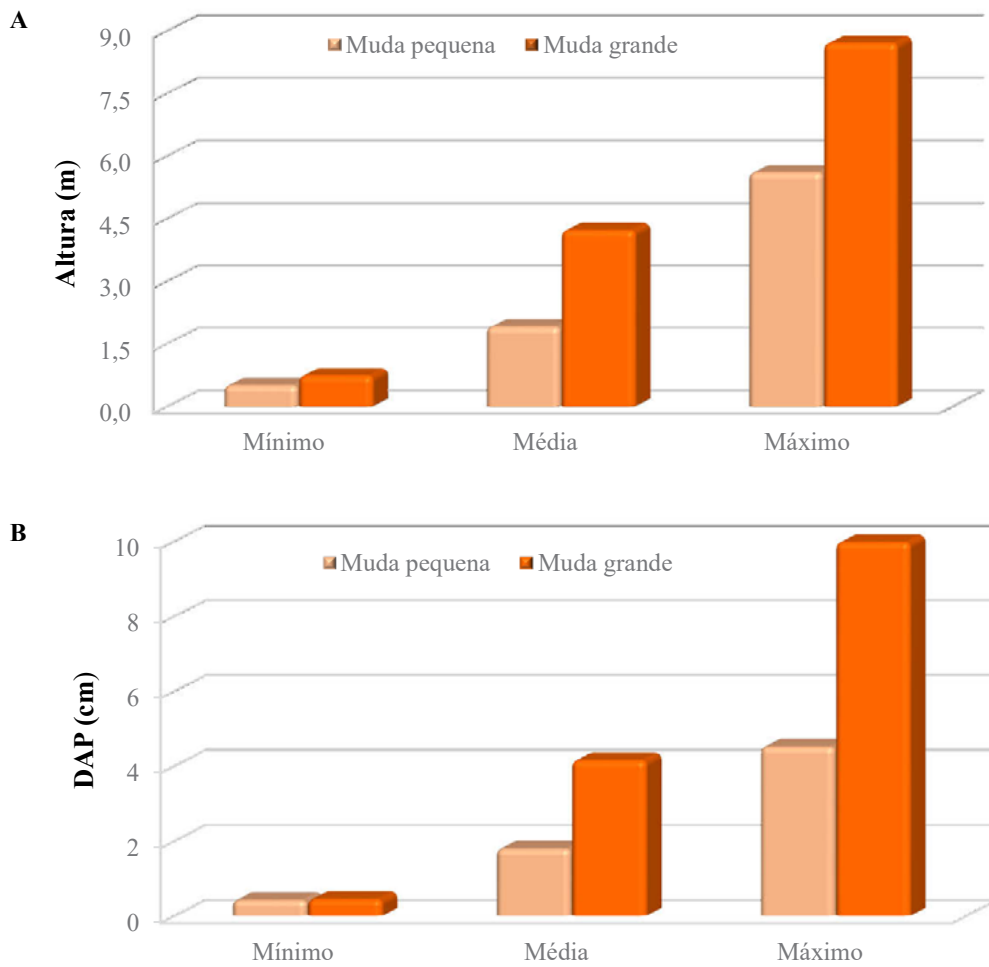


Figura 24. Valores médios, máximos e mínimos para altura (m): (A) e DAP (cm) (B) da araucária, aos seis anos de idade, em função do tamanho das mudas.



Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot

Figura 25. Altura de árvore de araucária oriunda de muda grande sendo medida aos seis anos de idade, na área do experimento.



Considerações finais

Os resultados de crescimento da araucária comprovam que a espécie apresenta um elevado potencial para cultivo, seja em sistemas a céu aberto, seja sob cobertura parcial. No entanto, algumas lacunas persistem e requerem outras análises. A primeira delas refere-se à decisão sobre o plantio de mudas ou sementeira direta (pinhão). Foi observado que o plantio de mudas maiores propicia maior sobrevivência, porém esse tipo de muda necessita de maior tempo em viveiro e uma logística diferenciada para o transporte e para o plantio. Por outro lado, com o plantio direto dos pinhões, ainda que pré-germinados, a taxa de sobrevivência é baixa, mas o custo é menor e refere-se ao valor das sementes, à sementeira e às re-semeaduras, até o recobrimento total da área. Uma análise comparativa de custos de produção de mudas ou aquisição de sementes, transporte e plantio é determinante para a adoção de um ou de outro procedimento.

Outro aspecto a ser levado em conta é o objetivo do plantio - se para restauração ou produção. Os tratamentos culturais em um plantio de restauração serão executados em menor intensidade (preparo do solo, replantio, roçada e coroamento), visando reduzir custos. Além disso, o uso de técnicas que promovam a regeneração natural de espécies no local também é uma estratégia frequentemente usada em áreas sendo submetidas a processos de restauração.

O plantio de araucária, assim como de outras espécies arbóreas, requer mão de obra disponível para operações de limpeza da coroa das mudas, por roçada ou capina, o que dependerá do uso anterior da área do povoamento (área desmatada ou remanescente de floresta alterada). Áreas de floresta alterada com a presença de taquara no sub-bosque exigem roçadas mais frequentes até o terceiro ano da implantação e esporádicas a partir de então. Deve-se avaliar a disponibilidade de pessoal para essas atividades, sob pena de comprometer todo o investimento na operação de plantio e na aquisição de mudas ou sementes, caso não seja possível a manutenção.

Em plantios para produção, quer seja em sistema puro ou em sistema agroflorestal, uma questão a ser considerada é a localização do talhão. Preferencialmente, devem ser escolhidas áreas não adjacentes a áreas ocupadas pela fauna silvestre, visando reduzir os riscos de predação. Além disso, investimentos iniciais maiores - tais como o emprego de mudas de grande porte - podem ser compensados por maior chance de sucesso no plantio, uma vez que as perdas por roedores, insetos ou pela competição com outras árvores e plantas herbáceas tendem a ser minimizadas.

Outro fator a ser levado em conta diz respeito ao produto final a ser colhido. Plantios estabelecidos para a futura produção de pinhões devem ter espaçamento mais esparsos (5 m x 5 m ou mais), para favorecer o desenvolvimento da copa desde a fase inicial de crescimento. Plantios para a produção de madeira requerem espaçamento mais adensado (até 3 m x 3 m), e devem ser previstos desbastes e desramas. Pesquisas relativas a esses aspectos ainda são necessárias para que se possam adotar práticas silviculturais e de manejo mais adequadas para cada finalidade.

Agradecimentos

Ao Professor aposentado da UFPR, Nelson Carlos Rosot, pela implantação e condução do plantio de araucária e imbuia sob sombreamento na Estação Experimental da Embrapa em Caçador e do plantio puro na Estação Experimental de Rio Negro - UFPR, aos técnicos Arnaldo Soares e Carlos Urio da Embrapa Florestas, e à bióloga Betina Kellermann pelas atividades de campo, principalmente nos trabalhos relacionados à EEEC. Aos agricultores de Bituruna e Caçador que cederam suas propriedades para a realização destes estudos.



Referências

- BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. Estoque de nutrientes nos resíduos da exploração de bracingais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 34, p. 17-29, 1997.
- BECKERT, S. M. **Crescimento, produção e produtividade de remedições em Floresta Ombrófila Mista**. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.
- BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: 13 ago. 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 5, de 8 de setembro de 2009**. Dispõe sobre os procedimentos metodológicos para restauração e recuperação das Áreas de Preservação Permanentes e da Reserva Legal instituídas pela Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, seção 1, n. 172, 9 set. 2009. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/_arquivos/in_mma_05_2009_5.pdf. Acesso em: 13 ago. 2020.
- CANCIAN, M. A. E.; CORDEIRO, L. Efeito do sombreamento no crescimento inicial de *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl. **Acta Botanica Brasílica**, v. 12, n. 3, supl. 1, p. 367-372, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33061998000400005>.
- CARDOSO, D. J.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZÚ, M. C.; ROSOT, N. C.; TONIOLO JÚNIOR, L.; OLIVEIRA, K. A. de Recommended thinning regimes for *Araucaria angustifolia* plantations on small properties in southern Brazil: a case study. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 4, p. 211-218, 2017.
- CARVALHO, P. E. R. Competição entre espécies florestais nativas em Irati-PR, cinco anos após o plantio. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 2, p. 41-56, 1981.
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 278/2001, de 24 de maio de 2001**. Dispõe sobre o corte e a exploração de espécies ameaçadas de extinção da flora da Mata Atlântica. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=276>. Acesso em: 8 out. 2018.
- EMBRAPA. **Agricultura e preservação ambiental: uma primeira análise do Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/car/resultados.html#dimensaoterritorial>. Acesso em: 13 ago. 2018.
- FERRER, R. S.; DILLENBURG, L. R. Efeitos da disponibilidade de luz no crescimento inicial e ecofisiologia de *Scutia buxifolia* Reissek (Rhamnaceae). **Hoehnea**, v. 27, p. 147-157, 2000.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo, 2017. 80 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura: PEVS**. Rio de Janeiro, 2016. 230 p.
- INOUE, M. T.; TORRES, D. V. Comportamento do crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em dependência da intensidade luminosa. **Floresta**, v. 11, p. 7-11, 1980.
- JACOBS, D. F.; SALIFU, K. F.; SEIFERT, J. R. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. **New Forests**, v. 30, p. 235-251, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-005-5419-y>.
- JURADO, E.; GARCÍA, J.; FLORES, J.; ESTRADA, E. Leguminous seedling establishment in Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 221, p. 133-39, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.011>.
- KURASZ, G. **Sistema de informações geográficas aplicado ao zoneamento ambiental da Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador/SC**. 2005. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.



LI, G. L.; LIU, Y.; ZHU, Y.; YANG, J.; SUN, H. Y.; JIA, Z. K.; MA, L. Y. Influence of initial age and size on the field performance of *Larix olgensis* seedlings. **New Forests**, v. 42, p. 215-226, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9248-x>.

LUDWIG, G.; AGUIAR, L. M.; ROCHA, V. J. Uma avaliação da dieta, da área de vida e das estimativas populacionais de *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) em um fragmento florestal no norte do estado do Paraná. **Neotropical Primates**, v. 13, n. 3, p. 11-18, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1896/1413-4705.13.3.12>.

MÓSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Early growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] Kuntze) in response to soil compaction and drought. **Plant and Soil**, v. 258, p. 293-306, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016559.47135.21>.

NIINEMETS, U.; TOBIAS, M.; CESCATTI, A.; SPARROW, A. Size-dependent variation in shoot light-harvesting efficiency in shade-intolerant conifers. **International Journal of Plant Sciences**, v. 167, p. 19-32, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1086/497845>.

OZELAME DA SILVA, R.; STEENBOCK, W. **Análise da legislação referente a Sistemas Agroflorestais (SAFs) no Sul do Brasil**: marco pedagógico em agrofloresta. Barra do Turvo: Cooperafloresta/PDA, 2011. 31 p.

PIRES, P. de T. de L. Aspectos legais. In: SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. p. 53-104.

POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, v. 13, p. 396-410, 1999.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 135-166.

ROSOT, M. A. D. Manejo Florestal de Uso Múltiplo: uma alternativa contra a extinção da floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 55, p. 75-85, 2007.

ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; MATTOS, P. P. de; GARRASTAZU, M. C.; SHIMIZU, J. Y. **Monitoramento na Reserva Florestal da Embrapa/Epagri (RFEE) em Caçador, SC**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 35 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 158). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/314074>.

ROSOT, M. A. D.; FRANCISCON, L.; MARAN, J. C.; ROSOT, N. C.; CARDOSO, D. J. **Desempenho de *Araucaria angustifolia* em plantios de enriquecimento usando diferentes tamanhos de mudas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 8 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 397). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1069818>.

ROSOT, N. C.; DŁUGOSZ, F. L.; ROSOT, M. A. D.; KURASZ, G.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. Ações de recuperação em área degradada por fogo em Floresta Ombrófila Mista: resultados parciais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 55, p. 23-30, 2007b.

RYSER, P.; EEK, L. Consequences of phenotypic plasticity vs. interspecific differences in leaf and root traits for acquisition of aboveground and belowground resources. **American Journal of Botany**, v. 87, p. 402-411, 2000. DOI: <https://doi.org/10.2307/2656636>.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. 264 p.

SANTOS, A. J. dos; MÜLLER, A. C. Produtos não-madeireiros e serviços da Floresta de Araucária. In: SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multi-Graphic, 2006. p. 235-264.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria florestal**: medição e volumetria de árvores florestais. Lavras: Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1998. 310 p.

STEFANO, di S. Mammalian browsing damage in the Mt. Cole State forest, southeastern Australia: analysis of browsing patterns, spatial relationship and browse selection. **New Forests**, v. 29, p. 43-61, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-004-6767-8>.



TAKAHASHI, K. Plastic response of crown architecture to crowding in understorey trees of two co-dominating conifers. *Annals of Botany*, v. 77, p. 159-164, 1996.

TONIOLO JUNIOR, L.; CARDOSO, D. J.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; OLIVEIRA, E. B. de; GOMES, J. B. V.; ARCE, J. E.; ROSOT, N. C.; FRANCISCON, L. **Evolução da forma do tronco e do volume por sortimento em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze plantada em espaçamento amplo.** Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 53 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 285). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1040165>.

TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P.; JACOBS, D. F. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests*, v. 44, p. 327-339, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>.



13

**SisAraucaria[©]:
software para
o manejo de
plantações
de *Araucaria
angustifolia***

Edilson Batista de Oliveira

Introdução

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. possui diversas características desejáveis para o cultivo visando à produção de madeira de boa qualidade para múltiplas finalidades. Seu crescimento em altura varia de 10 m a 35 m e o DAP (diâmetro à altura do peito ou a 1,3 m do solo) entre 50 cm a 120 cm chegando, excepcionalmente, a 50 m de altura e 250 cm ou mais de diâmetro do tronco, na idade adulta. O tronco é reto, colunar e quase cilíndrico. Apresenta boa produtividade de madeira, dependendo da procedência das sementes utilizadas, como aquela observada em um plantio de conversão ou transformação realizado em Colombo, PR, em solos de fertilidade média e com alto teor de alumínio, que variou de 12 m³/ha ano⁻¹ a 18 m³/ha ano⁻¹ (Carvalho, 1994).

A falta de investimentos no melhoramento genético da araucária, contrapondo-se à existência de consistentes programas de pínus e eucalipto, contribuiu para que os plantios de araucária para fins comerciais fossem substituídos por plantios com espécies desses gêneros, no sul do Brasil. Tais programas, juntamente com o emprego de técnicas silviculturais apropriadas, multiplicaram a produtividade de madeira dessas espécies, possibilitando que atingissem valores de até o triplo daquele produzido antes de 1980. Outros fatores, além do maior crescimento, também foram determinantes na substituição da araucária, como as vantagens oferecidas pelo pínus e eucalipto, relacionadas à menor exigência em qualidade de sítio e à maior facilidade para a obtenção de sementes e produção de mudas.

Entretanto, a araucária tem enorme potencial para aumento de produtividade da madeira, especialmente se melhorada geneticamente. Estima-se que a produtividade de madeira da araucária é, em média, 50% a 60% inferior àquela apresentada por *Pinus taeda* na mesma idade e condições edafoclimáticas, mas, em sítios melhores, este percentual aumenta significativamente.

Os plantios de araucária com finalidade de produção madeireira seriam fortemente estimulados com a disponibilização de material genético melhorado e, também, pela viabilização de legislação que garantisse o seu plantio sob manejo sustentável, com propósito comercial, em áreas de Reserva Legal.

Buscando orientar técnicos e produtores rurais sobre a escolha de melhores regimes de manejo para plantações de araucária, a Embrapa Florestas criou o SisAraucaria, um software que simula o crescimento e a produção de madeira de plantações de araucária, apresentando resultados de acordo com os regimes de manejo indicados pelo usuário.

O software pode ser adquirido sem ônus no seguinte endereço: <https://www.embrapa.br/florestas>. Juntamente com o SisAraucaria será instalado o software Planin©, que gera parâmetros para análise econômica, possibilitando a identificação dos regimes de manejo mais rentáveis. Com os dois softwares instalados, o usuário terá subsídios para o planejamento adequado da produção florestal, com informações que possibilitarão otimizar a produção e aumentar a renda da propriedade.

Base de dados e modelagem estatística do software

A primeira versão do SisAraucaria foi lançada no 8º Congresso Florestal Brasileiro, por Oliveira e Bennett (2003). Os algoritmos utilizados tiveram por base os resultados de inventários disponibilizados pela empresa Klabin, que possuía os dados de mensuração dendrométrica de suas plantações de araucária estabelecidas desde 1949.



O software foi construído na linguagem Delphi, sendo possível utilizar várias rotinas de programação e as experiências de dois softwares desenvolvidos anteriormente, o SisPinus© e o SisEucalipto©. O método estatístico utilizado para a construção dos algoritmos foi a projeção ano a ano dos parâmetros das distribuições probabilísticas S_B e S_B bivariada (S_{BB}), sendo que a 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 (Oliveira; Burnett, 2003).

O software utiliza também equações de sítio, volume e afilamento do fuste que podem ser substituídas por outras similares, mediante critério dos usuários, caso estes possuam modelos para condições específicas de suas plantações, o que possibilitaria a geração de resultados com maior precisão e acurácia.

A equação de sítio descreve a influência do local ou sítio (especialmente solo e clima) no crescimento das árvores. Ela permite que o software seja aplicável a plantações de araucária em diferentes condições de solo e clima, ajustando o potencial de crescimento da espécie ao potencial de produtividade de cada local. O manual do software apresenta uma tabela de classificação de sítios que permite ao usuário encontrar e indicar o “índice de sítio” de sua propriedade. Este índice deverá ser informado no menu inicial do SisAraucaria, para que todos os algoritmos se tornem adequados, de forma a refletir a condição específica de crescimento e produção da floresta que está sendo trabalhada.

Dados necessários para as simulações e resultados gerados pelo SisAraucaria

A configuração mínima do SisAraucaria exige que sejam informados o índice de sítio e o número de árvores por hectare, no plantio. A configuração completa exige, ainda, valores do diâmetro médio ou área basal por hectare obtidos por inventário da floresta que está sendo trabalhada.

De forma semelhante aos demais simuladores da série “Sis” da Embrapa, conforme recomenda Oliveira (2011), o usuário insere dados de inventário da floresta para que sejam geradas tabelas de crescimento e produção, indicando quanto de madeira sua plantação de araucária produz, em qualquer idade.

O software possibilita a simulação de desbastes sistemáticos, seletivos e sistemáticos seguidos de seletivos, possibilitando a avaliação de qualquer regime de manejo que se deseja aplicar aos povoamentos de araucária. Isto serve de base para as tomadas de decisão sobre quando, quanto e como desbastar, e quando fazer o corte final.

O SisAraucaria indica o crescimento e a produção da floresta ano a ano, separando o volume total de madeira em volumes por classes de diâmetro, e por dimensões de toras (comprimento e diâmetro), de acordo com as exigências do mercado para atender às diferentes finalidades industriais, como laminação, serraria, celulose etc. Assim, o usuário poderá solicitar, por exemplo, toras de 2,6 metros de comprimento, separadas em classes com diâmetro acima de 35 cm, entre 25 cm e 35 cm, entre 18 cm e 25 cm e abaixo de 18 cm. Com isto, o tronco de cada árvore será segmentado por dimensões de toras (Figura 1).

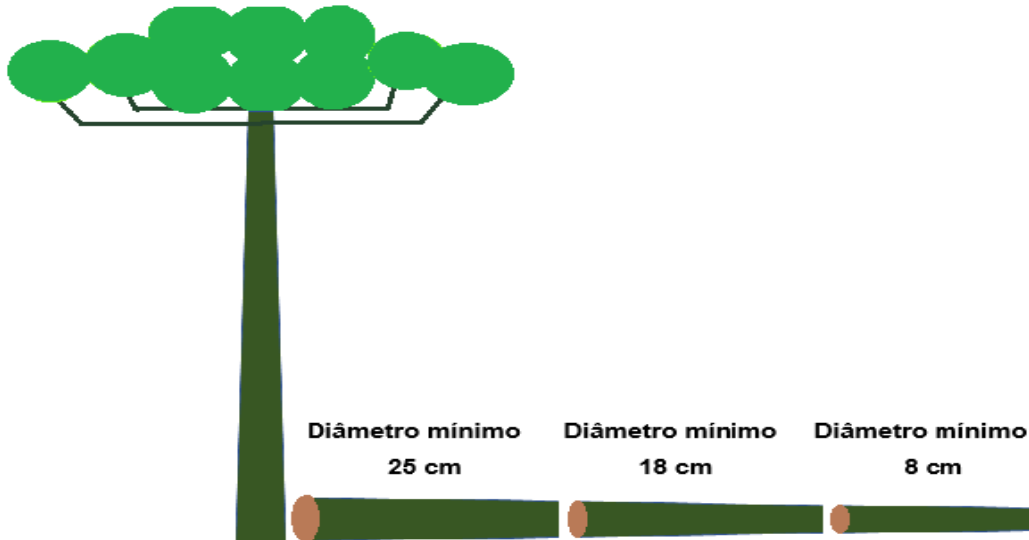


Figura 1. Tronco com sortimento em função de diâmetros de toras.

A Figura 2 mostra as três opções de entrada de dados. A opção que gera resultados mais precisos é a que solicita o número de árvores por hectare, a idade da floresta inventariada e o diâmetro médio ou área basal por hectare.

A captura de tela mostra a interface do software SisAraucaria - Nova Simulação. O menu superior inclui Arquivo, Gráfico, Análise econômica, Manual e Outros. O painel principal é dividido em duas seções: 'Itens' e 'Entrada de Dados'.

O painel 'Itens' contém uma árvore de navegação com os seguintes itens:

- Simulação
 - Inventário (selecionado)
 - Opções de Listagens
 - Desbastes
- Equações
 - Sítio
 - Volume
 - Sortimento
- Diâmetro de toras e sortimento
- Catálogos
 - Produtos
 - Fórmulas

O painel 'Entrada de Dados' contém o formulário 'Inventário' com as seguintes opções:

- Número de árvores plantadas por hectare
 - Densidade (árvores por hectare):
 - Porcentagem inicial de sobrevivência:
- Número de árvores por hectare em determinada idade
 - Densidade (árvores por hectare):
 - Idade em que as condições são conhecidas:
- Número de árvores por hectare e área basal ou diâmetro quadrático médio em det. idade
 - Densidade (árvores por hectare):
 - Idade em que as condições são conhecidas:
 - Área basal:
 - Diâmetro quadrático mé:

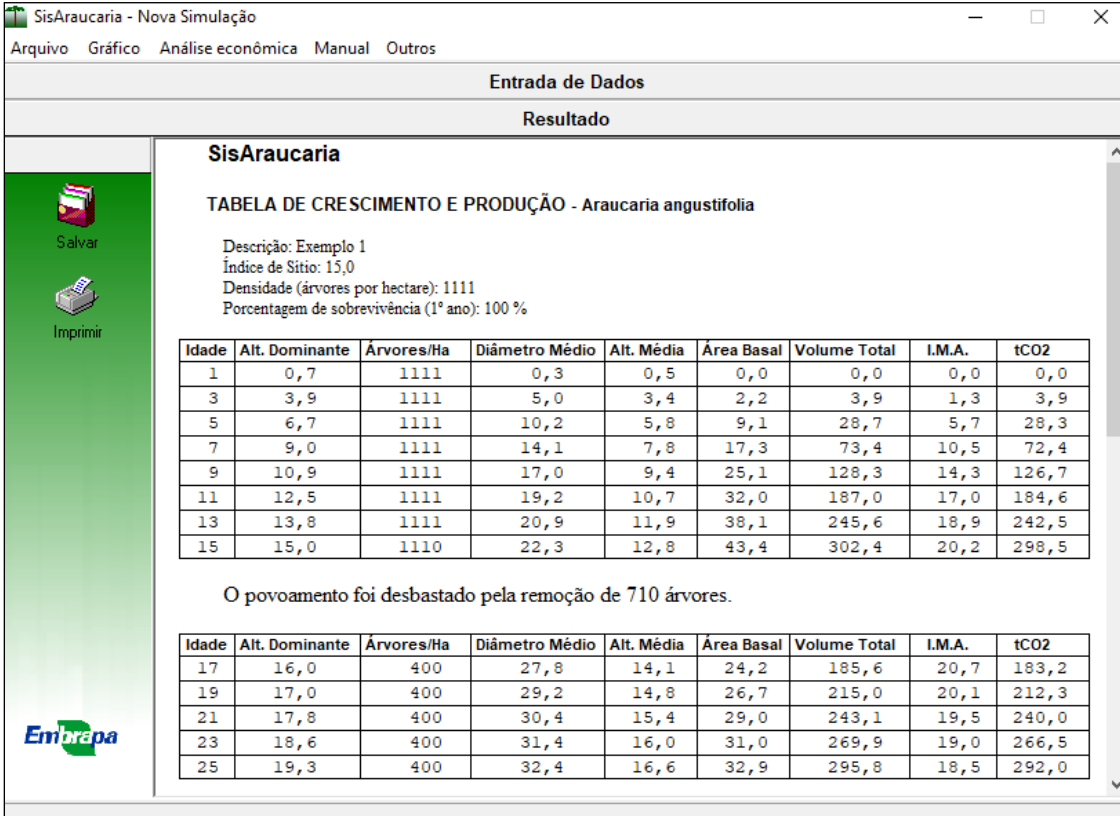
Adicionalmente, há um campo 'Nível de homogeneidade do plantio:' com o valor 5 e três opções de plantio:

- Plantios heterogêneos = 1 a 4
- Plantios com homogeneidade média = 5 a 9
- Plantios homogêneos = 10

Na base da tela, há um campo rotulado 'Resultado'.

Figura 2. Tela de entrada de dados do SisAraucaria.

A Figura 3 apresenta a tabela de crescimento e a produção gerada pelo software. As variáveis apresentadas descrevem a estrutura da plantação florestal. Todos os resultados são considerados para a área de um hectare. O cálculo do carbono sequestrado pelas araucárias está baseado em modelagem de Watzlawick et al. (2003). As equações de sítio, volume e afilamento do fuste podem ser visualizadas e, também, substituídas por outras no item “Equações” do menu de entrada de dados. A equação de volume pode utilizar como variáveis a altura média, o DAP e a idade do povoamento. A variável idade é importante para ajustar a evolução do fator de forma ao longo do tempo, em que os fustes das araucárias se tornam cada vez mais cilíndricos.



SisAraucaria - Nova Simulação

Arquivo Gráfico Análise econômica Manual Outros

Entrada de Dados

Resultado

SisAraucaria

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO - Araucaria angustifolia

Descrição: Exemplo 1
Índice de Sítio: 15,0
Densidade (árvores por hectare): 1111
Porcentagem de sobrevivência (1º ano): 100 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	0,7	1111	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
3	3,9	1111	5,0	3,4	2,2	3,9	1,3	3,9
5	6,7	1111	10,2	5,8	9,1	28,7	5,7	28,3
7	9,0	1111	14,1	7,8	17,3	73,4	10,5	72,4
9	10,9	1111	17,0	9,4	25,1	128,3	14,3	126,7
11	12,5	1111	19,2	10,7	32,0	187,0	17,0	184,6
13	13,8	1111	20,9	11,9	38,1	245,6	18,9	242,5
15	15,0	1110	22,3	12,8	43,4	302,4	20,2	298,5

O povoamento foi desbastado pela remoção de 710 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
17	16,0	400	27,8	14,1	24,2	185,6	20,7	183,2
19	17,0	400	29,2	14,8	26,7	215,0	20,1	212,3
21	17,8	400	30,4	15,4	29,0	243,1	19,5	240,0
23	18,6	400	31,4	16,0	31,0	269,9	19,0	266,5
25	19,3	400	32,4	16,6	32,9	295,8	18,5	292,0

Figura 3. Tabela de crescimento e produção gerada pelo software SisAraucaria.

A Figura 4 mostra a tabela de sortimento gerada em função das dimensões de toras indicadas pelo usuário.

O software possui o item “Catálogos” no qual “Fórmulas” e “Produtos” ficam armazenados e podem ser acessados e utilizados nas simulações de crescimento e produção, e no sortimento da produção madeireira.

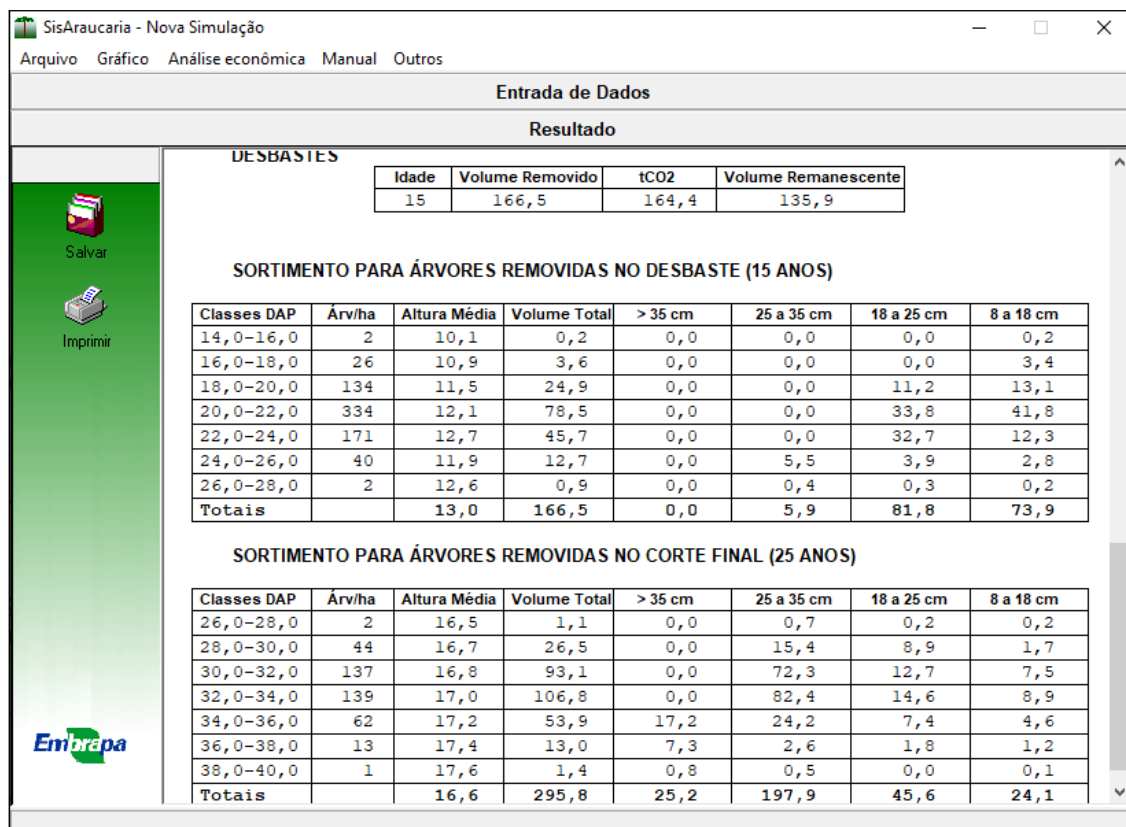


Figura 4. Tabela de sortimento para toras com diferentes dimensões.

Gráfico e Diagrama de Manejo da Densidade (DMD)

O SisAraucaria gera gráficos com variáveis básicas para o manejo adequado do povoamento. Para as simulações apresentadas nas Figuras de 3 e 4, o software gera os gráficos considerando o povoamento não desbastado (Figura 5) e desbastado (Figura 6).

Os gráficos apresentam resultados da produção (volume, incremento médio anual e área basal) e incluem variáveis geradas a partir do Diagrama de Manejo da Densidade (DMD) para araucária, desenvolvido para o software com base nos plantios usados na modelagem do mesmo. Conforme Oliveira (2011), o DMD apresenta as inter-relações matemáticas entre diversas variáveis do povoamento florestal envolvendo, basicamente, o número de árvores por hectare, a área basal e o diâmetro médio das árvores. Esses possibilitam o monitoramento da densidade do povoamento, em função da magnitude das variáveis de crescimento. Este monitoramento permite a definição de intensidades e épocas ideais de desbaste, adequação dos níveis de competição, em função dos objetivos da produção madeireira, o que possibilita otimizar a utilização do sítio.

Nos gráficos, a linha rosa representa a área basal do povoamento. Os triângulos rosas delimitam a faixa para as áreas basais máxima e mínima indicadas para manejo, visando a máxima produção com árvores de fustes de maior volume e de melhor qualidade.

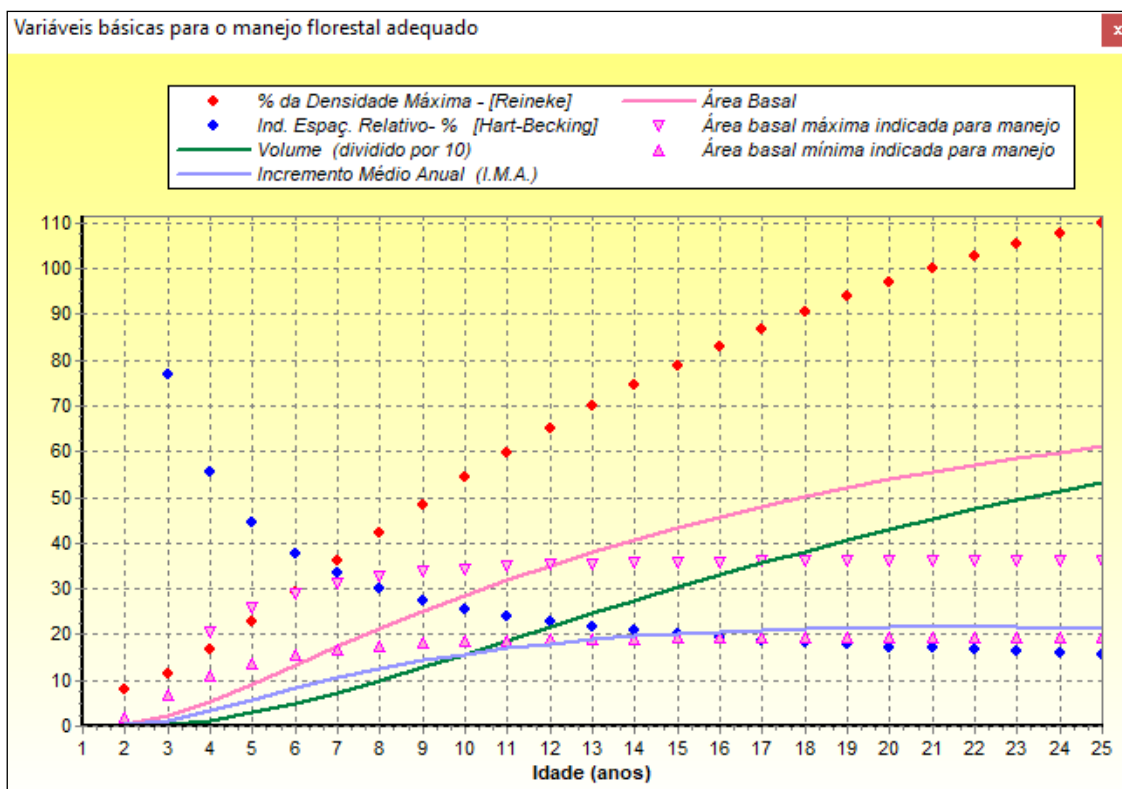


Figura 5. Gráfico gerado pelo SisAraucaria para o povoamento não desbastado.

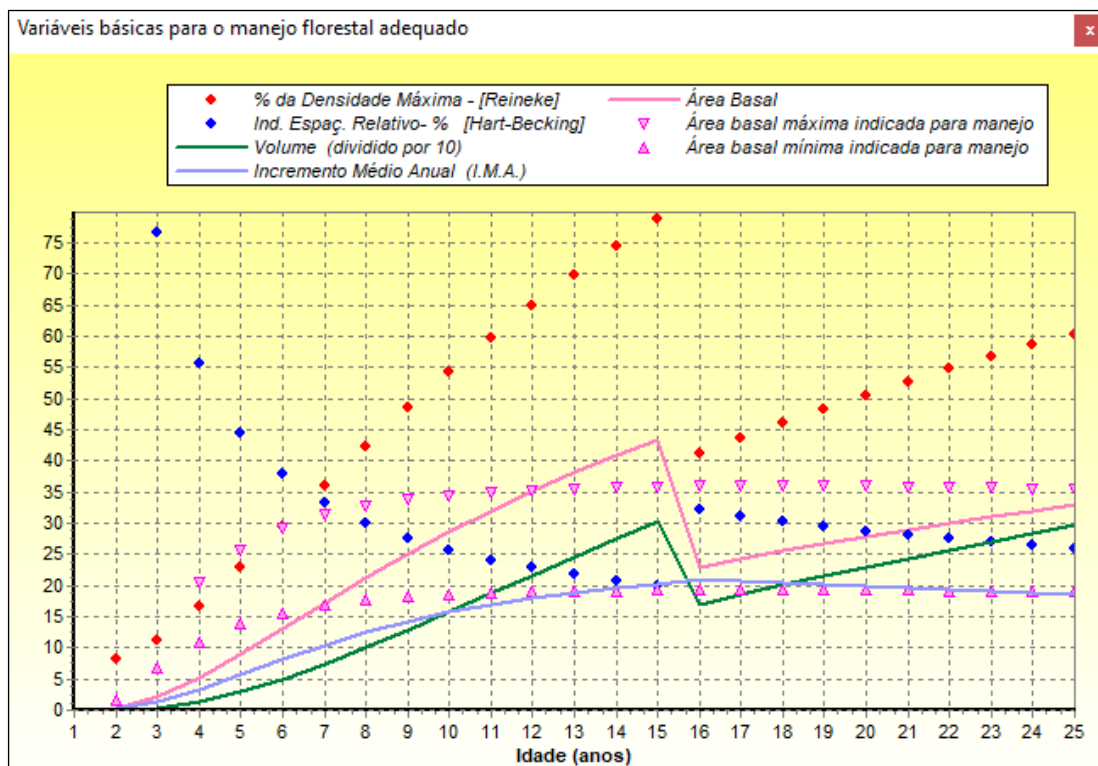


Figura 6. Gráfico gerado pelo SisAraucaria para o povoamento desbastado.



A linha formada por losangos vermelhos representa a porcentagem da densidade máxima possível que o povoamento está ocupando naquela idade. Esta densidade e as que delimitam a área basal para manejo foram geradas a partir do modelo de Reineke (1933), referência nos estudos de densidade e ajustado a partir de medições de povoamentos com densidade completa, sendo para o SisAraucaria:

$$N = \text{Exp}(12,5993 - 1,6933 \cdot \text{Ln}(Dg))$$

em que N é o número de árvores por hectare e Dg é o diâmetro quadrático médio.

Um losango vermelho que apresentasse o valor de 100% indicaria que o sítio está completamente estocado. No gráfico gerado para o Exemplo 1, observa-se que, aos 13 anos, o povoamento ocupa 70% do sítio e segue aumentando com maiores idades, apresentando aos 21 anos a ocupação de 100% (Figura 6).

As faixas de manejo com valores de 30% a 60% do estoque máximo vêm sendo recomendada em diversos trabalhos para outras espécies de rápido crescimento, visando manter árvores melhores para maior produção de toras de maior dimensão.

Loureiro (2013) desenvolveu um diagrama de manejo da densidade para *Araucaria angustifolia* a partir do modelo de Tang et al. (1994). Os dados utilizados foram provenientes de Misiones, na Argentina. A validação do DMD, complementando o estudo, utilizou dados da empresa Araupel, da Estação Experimental de Rio Negro e da Floresta Nacional de Irati, PR. O teste em situações extremas de manejo confirmou a aplicabilidade do modelo para qualquer plantio homogêneo desta espécie. Este DMD, apesar de não estar inserido no SisAraucaria, pode ser utilizado nas avaliações dos regimes de manejo, por meio de planilhas complementares.

O desbaste para manutenção da área basal dentro da faixa para manejo (Figura 6) reduz a produção total em 13% (531,5 m³ para 462,3 m³). Em contrapartida, a produção de toras com diâmetros acima de 35 cm que não existia passa a ser 25,2 m³.

Análise econômica

O SisAraucaria possibilita acesso ao software Planin, utilizado para cálculo dos parâmetros de avaliação econômico-financeira e análise de sensibilidade da rentabilidade sob diferentes taxas de atratividade. Conforme Oliveira et al. (2011), o Planin considera os diversos segmentos de custos operacionais de implantação, manutenção e colheita florestal gerando fluxo de caixa, análises de sensibilidade e os critérios de análise econômica mais utilizados no segmento de florestas plantadas. Além disso, ele possibilita ao usuário acompanhar seus custos, emitindo relatórios dos gastos anuais.

Referências

- CARVALHO, P. E. R. *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto. Kuntze: pinheiro-do-paraná. In: CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPq; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 70-78.
- LOUREIRO, G. H. **Diagrama de manejo da densidade para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.



OLIVEIRA, E. B. de; BERNETT, L. G. SisAraucaria: software para o manejo de plantações de araucária. 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.

OLIVEIRA, E. B.; NAKAJIMA, N.; CHANG, M.; HALISKI, M. **Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (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. (Embrapa Florestas. Documentos, 216). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898050>.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 627-638, 1933.

TANG, S.; MENG, C. H., MENG, F. R. A growth and self-thinning model for pure even-age stands: theory and applications. **Forest Ecology and Management**, v. 70, p. 67-73. 1994.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETA, C. R.; ARCE, J. BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 1, n. 2, p. 63-68, 2003.



14

**Avaliação
de serviços
ecossistêmicos
em Florestas com
Araucária**

Junior Ruiz Garcia
Lucilia Maria Parron

Introdução

A utilização maciça dos recursos naturais pela sociedade, ao longo do século XX (Hernández-Blanco; Constanza, 2019), tornou evidente que esses recursos, não são dádivas gratuitas e livres da natureza (Say, 1966; Gómez-Baggethun et al., 2010). Na verdade, esses recursos são esgotáveis, mesmo aqueles considerados até recentemente como renováveis, se a taxa de extração superar a de reposição (Pearce; Turner, 1990). Se a taxa de desmatamento, por exemplo, superar a taxa de regeneração florestal, esse recurso será extinto ao longo do tempo, mesmo sendo tratado como um recurso renovável. O reconhecimento, ainda que parcial, pela sociedade, de que o uso dos recursos naturais resulta em custos reais e potenciais, e que nem todos estão cobertos pela economia de mercado, contribuiu para a sua inserção na agenda política e de pesquisa.

Os recursos naturais representam os benefícios do ecossistema que contribuem direta ou indiretamente para o bem-estar humano. Esses benefícios têm sido definidos como bens e serviços ecossistêmicos, e a degradação dos ecossistemas tem influenciado na capacidade de provisão desses serviços. Essa nova realidade vem demandando uma profunda revisão da relação que a sociedade mantém com o meio ambiente. Um dos maiores obstáculos para o desenvolvimento e implementação de estratégias de conservação é o pouco conhecimento sobre o valor econômico (monetário) dos benefícios sem valor de mercado, gerados pelos sistemas naturais e produtivos (Sanderson et al., 2013). Como muitos serviços ecossistêmicos são disponíveis gratuitamente, sem mercados e sem sistemas de atribuição de preços, o seu verdadeiro valor no longo prazo não é incluído nas estimativas econômicas. Nesse sentido, a avaliação econômica de tais benefícios faz com que o uso e conservação do capital natural sejam mais eficientes.

Estima-se que existam menos de 3% da cobertura original da Floresta com Araucária no Brasil (SOS Mata Atlântica, 2019). O objetivo deste capítulo é apresentar e discutir métodos que permitam avaliar a importância dos serviços ecossistêmicos prestados pela Floresta com Araucária, a fim de fornecer subsídios para a criação de programas de incentivo à recuperação e conservação desses remanescentes florestais. Além disso, o capítulo discute a viabilidade de conciliar a conservação com o uso econômico, com base em sistemas integrados de manejo de remanescentes da Floresta com Araucária.

O capítulo está organizado em três seções. A primeira apresenta uma breve revisão teórica dos serviços ecossistêmicos, em ecossistemas florestais. Na sequência é realizada uma discussão sobre o valor dos recursos naturais e dos principais métodos de valoração de serviços ecossistêmicos. A última seção discute alguns incentivos à conservação da Floresta com Araucária, em função de sua importância como provedora de serviços ecossistêmicos e do seu elevado grau de degradação.

Serviços ecossistêmicos em ecossistemas florestais

As áreas de remanescentes de cobertura florestal nativa são consideradas a expressão máxima e sintética da biodiversidade dos ecossistemas¹ (Ipardes, 2010). É possível acrescentar que as florestas representam, no limite, o principal componente ecossistêmico responsável pela manutenção da qualidade ambiental. Desse modo, a cobertura florestal representaria um importante

¹ Um ecossistema pode ser caracterizado como um sistema composto por comunidades de plantas, animais e microrganismos e pelo meio ambiente não vivo – ou seja, composto por diversos subsistemas ou sub-ecossistemas –, que mantêm estreita e contínua interação unidirecional ou bidirecional (efeito de *feedback* ou retroalimentação) entre esses componentes (Miller; Spoolman, 2013).



indicador de qualidade dos ecossistemas e da capacidade de provimento de serviços ecossistêmicos (Millenium Ecosystem Assessment, 2003)². Neste sentido, a avaliação de serviços ecossistêmicos em florestas naturais pode fornecer importantes subsídios para a formulação de políticas que materializem o reconhecimento dos benefícios advindos das florestas e não remunerados devido às falhas de mercado, contribuindo para a recuperação e a conservação de remanescentes florestais.

Os componentes dos ecossistemas são interdependentes e sua dinâmica complexa resulta do número e da variedade desses componentes que estão em constante interação (Daly; Farley, 2011). As principais propriedades que contribuem para a relativa estabilidade dinâmica dos ecossistemas são variabilidade, resiliência e limiares (ou pontos de ruptura) (Millenium Ecosystem Assessment, 2003), as quais assumem um papel central na manutenção dos ecossistemas, de suas funções e no provimento de serviços ecossistêmicos.

O artigo 2º da Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD) destaca que biodiversidade e ecossistema são conceitos estreitamente relacionados. Acima de tudo, fisicamente, são estruturas interdependentes (ONU, 1993). A biodiversidade é a variabilidade entre os organismos vivos, o que inclui a diversidade dentro e entre espécies e a diversidade dentro e entre ecossistemas. A biodiversidade é a fonte de muitos bens do ecossistema, como alimentos e recursos genéticos. Mudanças na biodiversidade dos ecossistemas podem levar a mudanças no seu funcionamento, incluindo o fornecimento de serviços ecossistêmicos (Millenium Ecosystem Assessment, 2003).

A resiliência pode ser entendida como uma medida da magnitude dos distúrbios que podem ser absorvidos pelo ecossistema, sem que altere suas condições naturais (Arrow et al., 1995). Neste contexto, qual é o volume de recursos madeireiros e não madeireiros que pode ser extraído de uma Floresta com Araucária, sem que altere sua condição natural ou afete de maneira irreversível sua resiliência? Entretanto, quando a capacidade de recuperação (resiliência) é ultrapassada, existe a possibilidade de perdas irreversíveis na estrutura ecossistêmica. O ponto de ruptura da resiliência do ecossistema é conhecido como limiar. Os limiares são desvios drásticos, geralmente súbitos, menores que uma década, no comportamento 'normal' dos ecossistemas (Millenium Ecosystem Assessment, 2003).

A fonte primordial de bem-estar humano é o fluxo de serviços ecossistêmicos, os quais representam os benefícios apreendidos dos ecossistemas, de forma direta ou indireta, pela sociedade (Millenium Ecosystem Assessment, 2003). A publicação dos relatórios da Avaliação Ecossistêmica do Milênio contribuiu para consolidar e divulgar para a sociedade, além de incluir na agenda política, a importância dos serviços ecossistêmicos para o bem-estar e para a economia.

Os serviços ecossistêmicos têm sido classificados em suporte, regulação, provisão e socioculturais (Millenium Ecosystem Assessment, 2003) (Figura 1).

Os serviços de suporte propiciam as condições necessárias para que os demais serviços possam ser disponibilizados à sociedade. Os benefícios ocorrem, em sua maioria, de maneira indireta, e manifestam-se no longo prazo, como a formação do solo, a ciclagem de nutrientes, a produção primária, que estão na base do crescimento e da produção. Os serviços de provisão compreendem os produtos obtidos dos ecossistemas e oferecidos diretamente à sociedade, como alimentos e fibras naturais, madeira para combustível, água e material genético.

² O Millennium Ecosystem Assessment (MEA) foi um programa de quatro anos concebido para responder às necessidades de tomadores de decisão política e científica sobre a relação entre as alterações presenciadas, nas últimas décadas do século XX, na relação entre os ecossistemas e o bem-estar humano. Esse programa foi uma iniciativa do então Secretário Geral das Organizações das Nações Unidas (ONU), Kofi Annan, em junho de 2001.

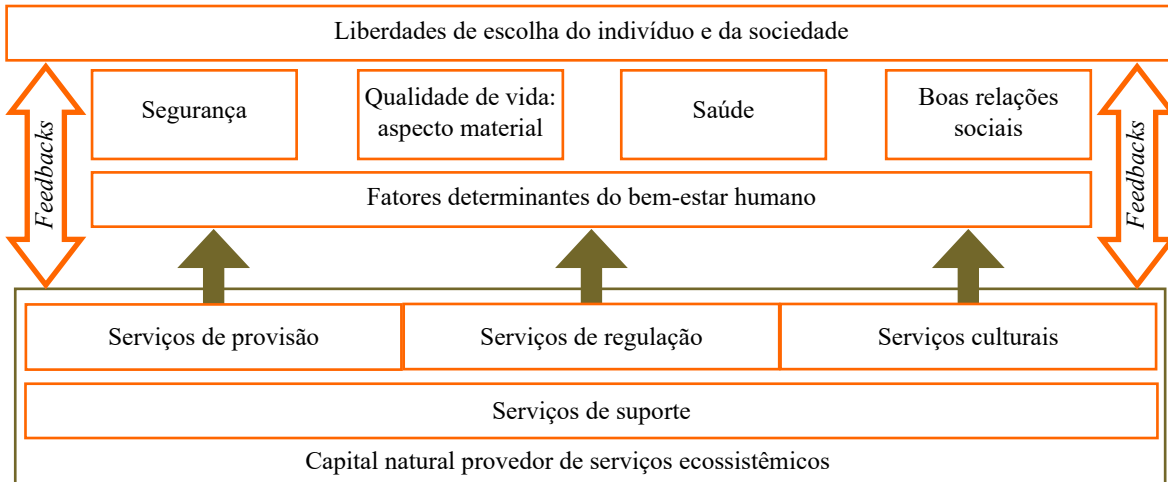


Figura 1. Grupos de serviços ecossistêmicos e relações e interdependências entre o fluxo de serviços ecossistêmicos e o bem-estar.

Fonte: preparado pelos autores com base em Millenium Ecosystem Assessment (2003).

Os serviços de regulação englobam os benefícios obtidos pela sociedade, a partir da regulação natural dos processos ecossistêmicos, tais como a regulação do clima, a regulação dos fluxos de água, o controle da erosão, a redução da incidência de pragas e doenças pelo controle biológico, e a polinização. Os serviços culturais são os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas que contribuem para o bem-estar da sociedade, como enriquecimento espiritual e cultural, desenvolvimento cognitivo, reflexão sobre os processos naturais, oportunidades de lazer, turismo e recreação (Figura 1). A partir dessa abordagem, as florestas podem ser vistas como responsáveis pelo provimento de um conjunto de serviços ecossistêmicos.

Exceto os serviços de provisão, a maioria dos outros serviços não tem preço apesar do seu valor inestimável para a sociedade. A colheita do pinhão é o serviço de provisão mais importante em fragmentos florestais com araucária, juntamente com o serviço de regulação, captura e estocagem de carbono e o serviço sociocultural de lazer e contemplação provido por sua beleza cênica (Apremavi, 2018). Fichino et al. (2017) identificaram alguns *trade-offs* relacionados aos serviços de provisão, de suporte e de regulação na Floresta com Araucária, em diferentes intensidades da colheita do pinhão. Os indicadores de serviços ecossistêmicos avaliados nesse estudo foram: número de pinhões germinados, número de mudas, biomassa de árvores jovens com diâmetro à altura do peito (DAP) entre 5-10 cm e quantidade de pinhões consumidos pela fauna, os quais podem ser classificados como serviços de suporte; pinhões colhidos de cada árvore fêmea como serviços de provisão; armazenamento de carbono em árvores com DAP maior que 5 cm como serviços de regulação.

Os resultados mostraram que a intensidade de colheita do pinhão impacta mais fortemente os indicadores de conservação de *A. angustifolia*, (ex. quantidade de pinhões colhidos em relação ao de pinhões germinados, número de plântulas, biomassa de árvores jovens etc) que aqueles relacionados à conservação do ecossistema e ao armazenamento de carbono. A prática de colheita do pinhão pode ser sustentável, desde que não exceda o limite de 85% dos pinhões produzidos (Fichino et al., 2017). As informações revelam a importância da Floresta com Araucária no provimento de serviços ecossistêmicos. O referido estudo também apresentou alguns atributos dos ecossistemas florestais que podem assegurar a sustentabilidade da floresta.

Para uma adequada valoração dos serviços ecossistêmicos em remanescentes de Floresta com Araucária, que leve em conta as dimensões ecológica, sociocultural e econômica, é fundamental realizar uma avaliação ecossistêmica aprofundada. Segundo Romeiro e Maia (2011), a avaliação ecossistêmica deve ser considerada como o ponto central da valoração dos serviços ecossistêmicos sustentada pela Economia Ecológica (Andrade, 2008; Cechin; Veiga, 2010). É preciso considerar a complexidade dos ecossistemas, as interdependências biofísicas de seus componentes e suas estreitas interações com o sistema socioeconômico.

Valor dos recursos naturais e os principais métodos de valoração de serviços ecossistêmicos

Uma adequada avaliação ecossistêmica deve apresentar as fortes interações entre seus elementos e as fracas em suas áreas limítrofes; adotar uma visão pragmática de suas fronteiras, as quais dependerão dos objetivos da pesquisa (Millenium Ecosystem Assessment, 2003). Um caminho prático para a delimitação de um ecossistema seria a construção de um conjunto de mapas que apresente os componentes mais significativos de um ecossistema. Essa proposta tem por objetivo mapear as discontinuidades do ecossistema, a distribuição dos organismos, ambiente biofísico (topografia, tipos de solos, bacias hidrográficas, a profundidade do corpo d'água etc.) e as interações espaciais (variedade de habitats, padrões de migração, fluxos de matéria etc.) (Millenium Ecosystem Assessment, 2003).

Cabe destacar que os serviços ecossistêmicos são dotados de valor ecológico, sociocultural e econômico (Figura 2). O valor dos serviços ecossistêmicos é uma forma de revelar sua importância para o bem-estar da sociedade. Assim, a valoração compreende a identificação do valor dos serviços ecossistêmicos para a sociedade, os quais podem ou não ser expressos na métrica monetária. A partir do valor total dos respectivos serviços será possível traçar as linhas gerais que deverão nortear a tomada de decisão referente ao uso e ocupação das terras.

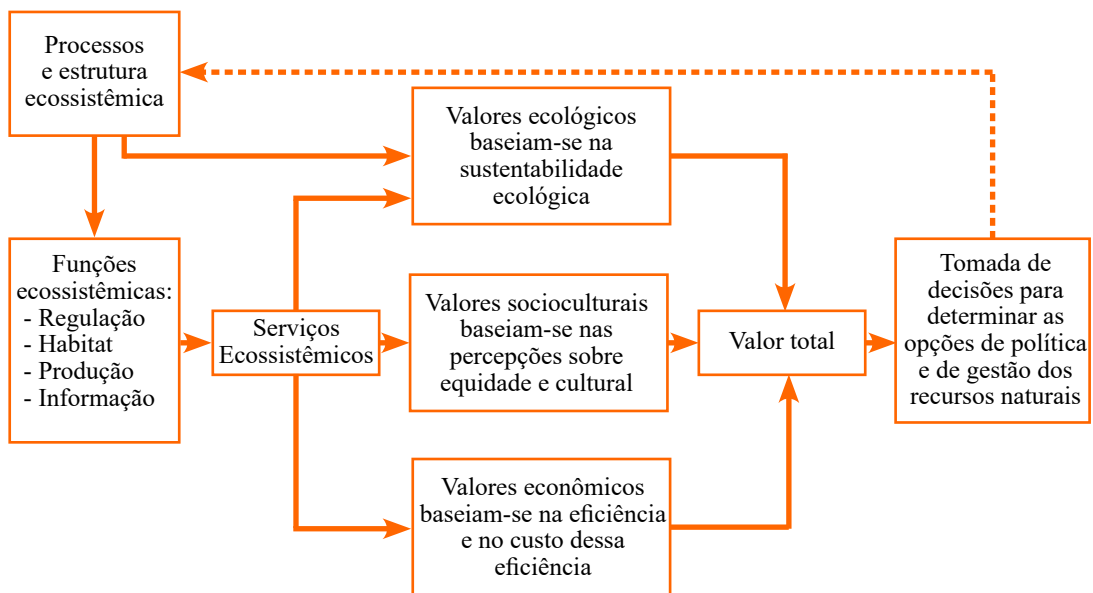


Figura 2. Avaliação integrada das funções e serviços ecossistêmicos.

Fonte: adaptado de De Groot et al. (2002, p. 394).

A ausência de mercados para os serviços ecossistêmicos se mostra como um grande desafio a ser transposto pela sociedade, para auxiliar na adequada gestão ambiental. Como a sociedade pode alocar os recursos naturais e distribuir os seus benefícios sem os sinais dos preços via mercado? A proposta da Economia Neoclássica tem sido a adoção de diversos instrumentos que possam “revelar” os valores dos serviços ecossistêmicos (Garcia, 2013). Neste sentido, a valoração dos serviços ecossistêmicos significa captar a importância monetária atribuída pela sociedade ou sua contribuição para o bem-estar. A “valoração ambiental” da Economia Neoclássica dispõe de um conjunto de técnicas para estimar os valores monetários dos recursos naturais.

Nesta perspectiva, o valor econômico total dos recursos naturais (VET) é composto pelo valor de uso direto e indireto e de não uso, que inclui o valor de opção, existência, herança ou quase opção (Figura 3). O valor de uso é atribuído pela sociedade pelo uso efetivo do recurso natural no presente (direto ou indireto). O valor de não uso é aquele atribuído pela sociedade referente aos valores sociais, não econômicos, mas que estariam associados ou não ao uso potencial no futuro dos recursos naturais.

VET dos recursos naturais	De uso	Direto	Uso direto dos recursos naturais
		Indireto	Uso indireto dos recursos naturais
	De não uso	Opção	Uso direto ou indireto futuro dos recursos
		Existência	Direito à vida
		Herança	Legado às futuras gerações
		Quase opção	Parcela possível de ser utilizada do recurso em função do aumento do conhecimento.

Figura 3. Decomposição do Valor Econômico Total dos recursos naturais (VET)¹.

Fonte: adaptado de Maia et al. (2004, p. 4).

Nota: ¹os recursos naturais podem incluir os serviços ecossistêmicos ou componentes do capital natural, por exemplo, os minerais.

A valoração econômica pressupõe que os agentes estejam dispostos a transacionar os recursos naturais (Liu et al., 2010). O valor monetário do recurso natural será baseado em bens e serviços econômicos, com sistemas de preços bem definidos. Os métodos de valoração da economia neoclássica são baseados no arcabouço teórico da microeconomia do bem-estar, excedente do consumidor e do produtor, custo de oportunidade, noção de disposição a pagar e a receber, eficiência econômica, equilíbrio geral e bem-estar social (Mueller, 2007). Os principais métodos de valoração econômica são agrupados em: i) Diretos ou Demanda; ii) Indiretos ou Função de Produção; iii) Preços de Mercado (Figura 4)³.

³ Para mais informações sobre os métodos de valoração econômica dos recursos naturais ver Maia et al. (2004), May et al. (2000), Seroa da Motta (2011), Romeiro e Maia (2011).

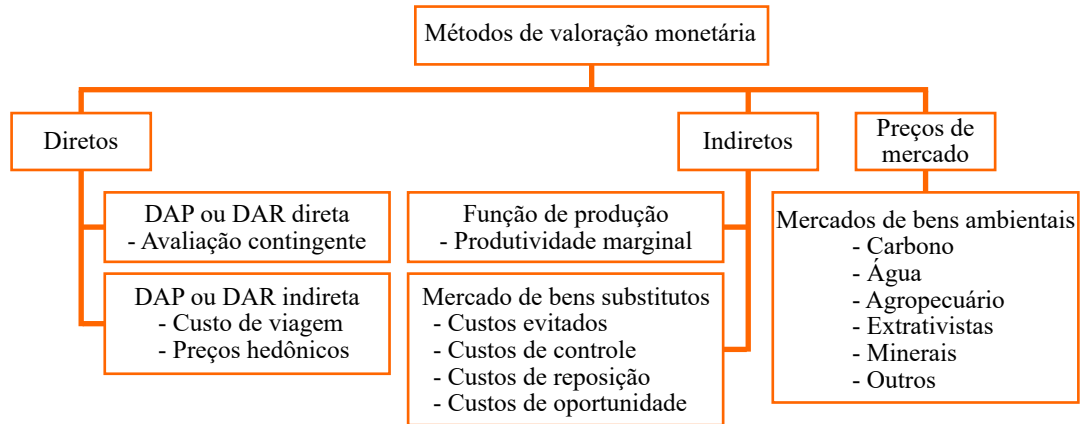


Figura 4. Métodos de valoração econômica dos recursos naturais.

Fonte: adaptado de Maia et al. (2004, p. 4).

Os métodos diretos buscam captar os valores dos recursos naturais a partir das preferências dos agentes. O objetivo é identificar a disposição a pagar pela recuperação e, ou preservação de um ecossistema ou a receber pela perda da qualidade ambiental dos indivíduos, em termos da variação quantitativa e, ou qualitativa dos recursos naturais, obtida a partir da consulta direta aos agentes (Mueller, 2007; Seroa da Motta; Ortiz, 2018)⁴. A seguir, são descritos os métodos com base nos trabalhos de Farber et al. (2002), Maia et al. (2004), Seroa da Motta (2011), Romeiro; Maia (2011) e Masiero et al. (2019).

O método avaliação contingente (MAC) consiste na aplicação de questionários em uma amostra de indivíduos, cujo objetivo é que esses revelem suas preferências em relação aos recursos naturais não disponíveis no mercado. O método simula um mercado hipotético, no qual o indivíduo é informado sobre os atributos do recurso natural valorado, mas sem informar que o mercado não existe (Masiero et al., 2019). Com base nessas informações, o indivíduo é induzido a revelar sua disposição a pagar ou a receber. O método é flexível e adaptável a vários contextos de valoração econômica, mas sua aplicação exige atenção especial quanto ao planejamento e execução da pesquisa, ou seja, um rigor metodológico.

O uso da Avaliação Contingente pode ser ilustrado com base no estudo realizado por Adams et al. (2008), para avaliar o valor de existência do Parque Estadual Morro do Diabo, que ocupa uma área de 35 mil hectares no oeste do estado de São Paulo. A disposição a pagar pela conservação do parque e dos demais remanescentes da Mata Atlântica no Estado foi estimada em US\$ 2.113.548 ano⁻¹ ou US\$ 60,39 ha⁻¹ ano⁻¹. Os resultados mostraram também alta incidência de disposição a pagar nula e de votos de protesto. No estudo, a disposição a pagar estimada esteve fortemente associada à capacidade de pagamento da população, aumentando conforme os níveis de renda.

O método dos Preços Hedônicos busca estabelecer uma relação entre os atributos ambientais de um bem econômico e seu preço de mercado. Adota-se o pressuposto de que o preço de alguns bens varia em função do preço de outros bens, isto porque os bens são “complementares” (Masiero et al., 2019). A estimativa da diferença de preços entre bens econômicos similares, mas com atributos distintos, representaria a disposição a pagar dos agentes, para se beneficiar de um recurso

⁴ A aplicação dos métodos diretos exige cuidados metodológicos (Farber et al., 2002, Maia et al., 2004, Seroa da Motta, 2011).



natural. O mercado imobiliário leva em conta alguns atributos ambientais na definição do preço dos imóveis. A presença, por exemplo, de um parque natural com exemplares de araucária pode influenciar no preço do imóvel. Isto porque os consumidores preferem um imóvel com uma vista para uma Floresta com Araucária do que um imóvel idêntico sem essa vista. Essa disposição a pagar reflete a importância dos serviços socioculturais providos pela Floresta com Araucária.

O método Custo de Viagem consiste na avaliação dos gastos incorridos pelas pessoas para se beneficiarem dos serviços fornecidos por recursos naturais dotados, por exemplo, do atributo beleza cênica. O método poderia ser usado para estimar o custo total de visitação, para acessar um fragmento de Floresta com Araucária que seja aberto à visitação. O valor será considerado a máxima disposição a pagar da pessoa pelos recursos ambientais oferecidos pelo parque em questão. Maia e Romeiro (2008) usaram o método custo de viagem para avaliar o valor econômico do Parque Nacional da Serra Geral, localizado entre os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, ocupando 17,3 mil hectares. O estudo, realizado entre abril e setembro de 2004, forneceu subsídios para uma decisão judicial a respeito do processo de desapropriação e indenização dos proprietários de terras na área do parque. Os benefícios líquidos providos pelo parque para os visitantes foram estimados em R\$ 33 milhões ano⁻¹.

Os métodos baseados na Função de Produção têm por objetivo avaliar o valor dos recursos naturais em relação à sua contribuição para a produção de bens e serviços econômicos (Seroa da Motta, 2011; Romeiro; Maia, 2011). A valoração pode ser realizada com base na Produtividade Marginal ou na Produção Sacrificada.

Na valoração baseada na Produtividade Marginal, o ecossistema é considerado um fator de produção, portanto as variações na quantidade e, ou qualidade dos recursos naturais podem afetar a produtividade das atividades econômicas. Assume-se que o valor do recurso natural na função da produção representa seu valor de uso. Assim, a valoração busca encontrar a associação entre a variação no recurso natural (quantidade e, ou qualidade) e as alterações na produção de bens econômicos, os quais são negociados no mercado (Seroa da Motta, 2011; Romeiro; Maia, 2011). No caso de *A. angustifolia*, o seu elevado estágio de degradação, acompanhado pela proibição do corte no Brasil, reduziu a zero a produção de sua madeira. Por conseguinte, o seu valor seria representado pela queda na oferta de bens econômicos produzidos com a sua madeira. O método da Produção Sacrificada tem sido aplicado com maior frequência em contextos onde existem riscos ambientais à saúde humana, como a perda temporária ou permanente da capacidade de gerar renda do indivíduo afetado (Seroa da Motta, 2011). A morte precoce de uma pessoa representaria o custo de oportunidade para a sociedade, cujo valor do recurso natural afetado será equivalente ao valor presente líquido (VPL) dos rendimentos líquidos gerados ao longo de sua vida. Nesta situação o valor das Florestas com Araucária poderia ser estimado com base nos prejuízos causados pelos danos ambientais e econômicos à sociedade, em função do desmatamento que afeta a produção econômica, por exemplo, o avanço dos processos de erosão que reduzem a produção agropecuária.

Os métodos de Valoração do Mercado de Bens Substitutos têm por objetivo estimar o valor dos recursos naturais com base nos bens econômicos substitutos, por conseguinte, esses bens possuem preço de mercado. Os métodos são apoiados na hipótese de que existem bens substitutos econômicos perfeitos para os recursos naturais (National Research Council, 1999; Romeiro; Maia, 2011). Os principais métodos são: custo de reposição, custos evitados, custos de controle, custo de oportunidade, custos irreversíveis. A aplicação do método poderia auxiliar na valoração de Florestas com Araucária, com base no valor dos bens substitutos. O valor da madeira de outras espécies florestais usada para substituir a madeira de araucária poderia ser usado para estimar o valor econômico da floresta.



O método do Custo de Reposição estima o custo de reposição dos recursos naturais degradados para restabelecer sua condição “original” (Romeiro; Maia, 2011; Masiero et al., 2019). Esse método supõe que a degradação ambiental seja reversível. Os custos da reposição de áreas de Florestas com Araucária degradadas poderiam refletir o seu valor.

O método dos Custos Evitados estima o valor dos recursos naturais com base nos gastos defensivos, substitutos ou complementares, para garantir o fluxo do produto econômico que depende do recurso natural. Este método tem sido usado para estimar os custos incorridos para não afetar a quantidade consumida ou a qualidade do recurso natural. Neste caso, os gastos incorridos pelo governo com a fiscalização das áreas protegidas poderiam ser usados para estimar o valor de Florestas com Araucária, porque representaria os custos evitados do desmatamento.

O método dos Custos de Controle baseia-se nos gastos incorridos pelos agentes, para evitar uma variação na disponibilidade dos recursos naturais. O valor dos recursos naturais é resultado do custo para melhorar a capacidade de resposta do ecossistema, em decorrência da degradação (Romeiro; Maia, 2011). Esse método é muito similar ao de Custos Evitados.

O método do Custo de Oportunidade busca estimar o custo de oportunidade da não realização de atividades econômicas, a fim de que sejam protegidas determinadas áreas naturais. O custo de oportunidade poderia ser avaliado como os benefícios econômicos do melhor uso alternativo da terra, em função da recuperação e conservação da Floresta com Araucária.

É importante destacar que os métodos indiretos captam apenas os valores de uso direto e indireto dos recursos naturais e, em algumas situações, os seus valores de opção. Isso ocorre porque estes métodos baseiam-se nos chamados “preços sombras”. Isso significa que os métodos indiretos não captam valores não econômicos. Por isso, o valor econômico total dos recursos naturais tende a ser subestimado. Embora a valoração econômica esteja relacionada às abordagens ecológicas, ainda prevalece apenas o critério econômico, à disposição a pagar ou a receber dos agentes pelos serviços ecossistêmicos e pelo capital natural.

A análise do valor econômico total dos serviços ecossistêmicos providos pela Floresta com Araucária ainda é restrita. O cálculo do custo de oportunidade é comumente usado nos estudos de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD, sigla em inglês) e programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), para apoiar a definição do valor a ser pago pela restauração ou conservação da floresta (Brancalion et al., 2017; Ickowitz et al., 2017). Em estudo realizado por Alarcon et al. (2017), o conceito de lucro líquido gerado em 1 ha ano⁻¹ foi adotado como o custo de oportunidade da terra ou o rendimento médio ha⁻¹ ano⁻¹, para a produção de leite e culturas informadas. Os resultados mostram maior interesse dos agricultores na modalidade de conservação que pode refletir na sua obrigação legal de manter, pelo menos, 20% da área de suas propriedades como florestas permanentes ou Reserva Legal (RL), conforme define o Novo Código Florestal (Brasil, 2012).

A manutenção de Áreas de Preservação Permanente (APP), as quais incluem as matas ciliares em corpos d'água, tais como rios, lagos e nascentes, matas em encostas íngremes e colinas, também é obrigatória. Além disso, existem restrições adicionais impostas pela Lei da Mata Atlântica, que proíbe o desmatamento de florestas em estágio avançado de regeneração (Brasil, 2008). As florestas sob proteção legal não estão sujeitas à tributação (Brasil, 2012), mas não geram renda para os agricultores e proprietários. Nesse contexto, participar de um PSA para conservar florestas existentes ou restaurar florestas degradadas é uma alternativa atraente para os proprietários.

Os proprietários concordariam em receber uma compensação para cumprir os regulamentos ambientais, representaria a disposição a receber (DAR) dos produtores rurais, reservando apenas



aquelas terras cuja preservação já é obrigatória. Contudo, a cobertura florestal não aumentaria porque a disposição dos agricultores para restaurar áreas florestais abertas ou degradadas é seis vezes menor que aquela para conservar áreas florestais (Alarcon et al., 2017). Os proprietários esperam uma compensação monetária maior (35%) por hectare, para alterar o uso agrícola da terra para cobertura florestal, em comparação à compensação para conservar as terras já florestadas. Mesmo assim, possíveis resultados positivos do programa seriam a redução da degradação florestal e do desmatamento em pequena escala e o aumento de *compliance* (Alarcon et al., 2017).

Visão futura: incentivos à conservação da Floresta com Araucária

A manutenção de ecossistemas “saudáveis” contribui direta e indiretamente para o bem-estar humano, o desenvolvimento, a redução da pobreza e as condições de suporte à vida no Planeta Terra. Desse modo, a gestão efetiva e eficiente dos ecossistemas pode manter, ampliar e, ou preservar a capacidade de provisão dos serviços ecossistêmicos (Turner; Daily, 2008). A estrutura dos ecossistemas integrada ao sistema social necessariamente tem valor econômico, social e ambiental, porque a sua manutenção é necessária para que seja mantido o fluxo de serviços ecossistêmicos.

Parcela dos benefícios proporcionados pelos serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano no sistema capitalista é formada por “bens” privados ou públicos (Daly ; Farley, 2011), portanto estão associados a uma variedade de direitos de propriedade e de arranjos institucionais. A localização no território dos recursos naturais, o que inclui os serviços ecossistêmicos, pode ser propriedade privada, propriedade de um país (propriedade pública), que constitui propriedade comum, ou mesmo ser objeto de tratados internacionais (Turner; Daily, 2008).

Um componente fundamental para a existência de ecossistemas saudáveis (Lu et al., 2015) e, conseqüentemente, para manter o fluxo de serviços ecossistêmicos é o capital natural⁵ (Daly; Farley, 2011). O capital natural pode ser entendido como o estoque de recursos naturais responsáveis por um fluxo de benefícios para a sociedade, tais como os serviços ecossistêmicos (Costanza; Daly, 1992). Cabe destacar que a produção de bens e serviços econômicos contribui para o bem-estar da sociedade, mas o capital natural é o fator determinante, pois sem este e sem os serviços ecossistêmicos não existiria produção econômica.

Os serviços ecossistêmicos e o capital natural não podem ser substituídos pelo capital produzido pela sociedade, pois esses são complementares (Cechin; Veiga, 2010). A produção de pinhão, por exemplo, ainda tem sido limitada aos remanescentes de Florestas com Araucária e aos poucos sistemas de produção florestais (Mello; Peroni, 2015, Wendling; Zanette, 2017). Mesmo assim, em 2016, a produção alcançou quase oito mil toneladas (Figura 5), gerando R\$ 22,4 milhões (IBGE, 2020). Portanto, qual o futuro da cadeia produtiva de coletores e consumidores de pinhão e dos demais produtos da araucária se não existirem mais essas florestas? Com o desaparecimento do capital natural, o capital produzido perde seu significado, porque seria incapaz de gerar um fluxo de benefícios para a sociedade.

⁵ O conceito de ecossistema é mais amplo, porque refere-se aos sistemas que englobam as complexas, dinâmicas e contínuas interações entre seres vivos e não vivos em seus ambientes físico-químicos e biológicos, nos quais a espécie humana é parte integral (Millenium Ecosystem Assessment, 2003). O conceito de capital natural refere-se apenas à parcela do estoque de recursos naturais (bióticos e abióticos) dos ecossistemas que, de fato, possam gerar algum benefício para o bem-estar humano (Costanza et al, 1997).

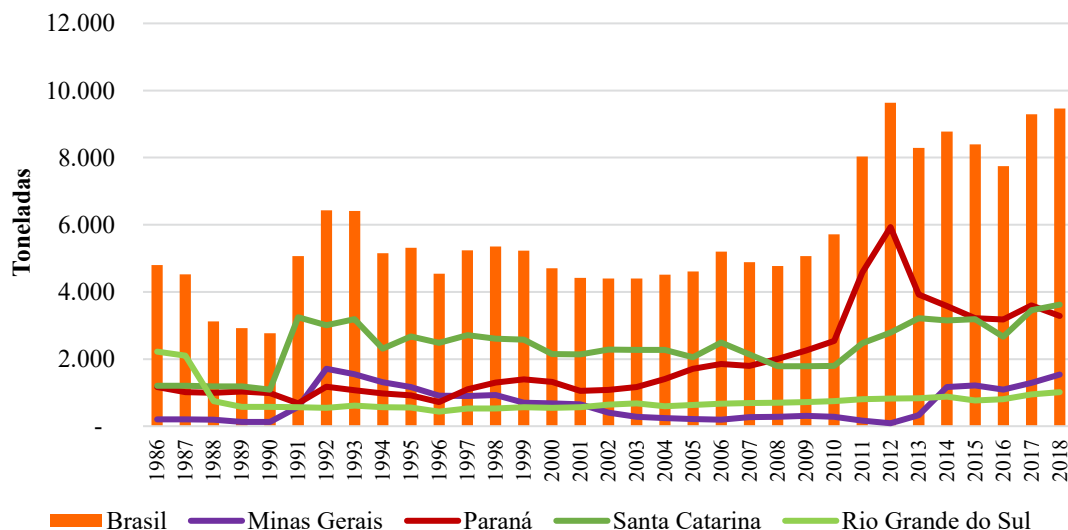


Figura 5. Evolução da quantidade produzida de pinhão no Brasil e por Estado (toneladas): 1986-2018.

Fonte: IBGE (2020).

Uma alternativa para recuperar e conservar os remanescentes de Florestas com Araucária seria estimular o seu uso integrado, fundamentado na integração da produção animal, produção agrícola e manejo florestal de erva-mate, araucária e outras espécies nativas. Os sistemas e as práticas tradicionais de gestão integrada, adotados pelos agricultores mantêm a paisagem com fragmentos florestais produtivos, favorecendo a conservação dessas espécies e o turismo rural (Mello; Peroni, 2015; Reis et al., 2018). Áreas, assim, ainda permanecem devido à tradição cultural de uso e manejo da vegetação, o que caracteriza os serviços ecossistêmicos culturais.

Ao utilizar sistemas integrados de manejo de remanescentes da floresta para atingir objetivos econômicos como a produção de erva-mate e produção de pinhão, os agricultores também podem ter perda da qualidade ambiental, com alterações na composição florística, na fertilidade química e na atividade microbiológica do solo, o que comprometeria a sustentabilidade da floresta como um todo. Por isso, é necessário elaborar uma matriz de avaliação de serviços ecossistêmicos para mostrar as condições e as alterações do ambiente, monitorizar as tendências e diagnosticar eventuais problemas ambientais.

Quando os sistemas de uso integrado contribuem para a conservação da Floresta com Araucária, os agricultores podem ser beneficiados (além da renda com a produção) com a implantação de programas de PSA. A adoção de sistemas integrados contribui para elevar a taxa de captura (sequestro) de carbono, o estoque de carbono, conservação da biodiversidade, melhoria dos serviços de provisão de água (quantitativo e qualitativo), controle de cheias e de erosão, entre outros benefícios. Além do PSA, os produtores e as regiões que adotem ações para recuperar e conservar as Florestas com Araucária poderiam ser beneficiados como a ampliação do ICMS-Ecológico⁶, com a diferenciação tributária e, inclusive, a busca por parcerias com a iniciativa privada no que se

⁶ É um instrumento de política pública instituído pioneiramente pelo estado do Paraná, a fim de estimular a recuperação e a proteção da qualidade ambiental. Do total arrecadado de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) no estado do Paraná, 5% têm sido destinados aos municípios que adotam práticas de proteção ambiental, como áreas de mananciais e unidades de conservação. Sobre o ICMS Ecológico ver IAP (2019).



refere à responsabilidade ambiental e social das empresas. O projeto ‘Estradas com Araucárias’ é um exemplo de incentivo, por meio de programas de PSA, ao plantio de *A. angustifolia* nas divisas de propriedades rurais familiares com faixas de domínio de estradas. Os produtores rurais plantam araucárias em suas propriedades e são pagos por empresas privadas, que utilizam as árvores para compensar emissões de gases de efeito estufa, no mercado voluntário e para promover outros serviços ecossistêmicos (Oliveira, 2015).

Os faxinais são uma forma de organização social e produtiva fundamentada na integração da produção animal, mediante criadouros comunitários, produção agrícola de subsistência para consumo e comercialização, e extrativismo florestal de baixo impacto com manejo de erva-mate, araucária e outras espécies nativas (Barreto, 2011). Considerando um faxinal com 117 famílias (faxinal típico) e um projeto de implantação de 300 ha com araucária, Silva (2005) sustenta que a implantação de um sistema silvipastoril ecológico, baseado no plantio de araucária e, conseqüentemente, produção de 40 pinhas por planta, para uma densidade de 75 plantas por hectare, pode gerar uma receita familiar anual média superior ao sistema tradicional, com incremento de, aproximadamente, 445% para um período de 30 anos. Se for considerada a produção de pinhão e um programa de PSA por sequestro de carbono, o incremento médio de renda seria de, aproximadamente, 470%.

A partir do beneficiamento da semente do pinhão e da organização de uma cadeia extrativista, também é oportuno o desenvolvimento de novos artefatos, como a utilização das escamas estéreis da pinha da araucária em compósitos e sua aplicação no *design* de produtos moldados (Cezimbra, 2017). Uma estratégia a ser adotada por órgãos competentes de Estado é a elaboração de um plano de fortalecimento da cadeia extrativista com foco no mercado produtivo e em tecnologia de armazenamento e na industrialização do pinhão, visando à valorização dos remanescentes de Floresta com Araucária (Ribeiro et al., 2015).

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) divide as unidades de conservação em dois grupos: o primeiro compreende as Unidades de Proteção Integral e o segundo, as Unidades de Uso Sustentável (Brasil, 2011). O SNUC, por meio das Unidades de Proteção Integral, tem desempenhado um papel expressivo na preservação dos remanescentes de Floresta com Araucária: são 21 unidades de conservação federais (como as Florestas Nacionais de Irati-PR, Canela, RS, Aparados da Serra, RS, Três Barras, SC, e Passo Fundo, RS, e os Parque Nacional das Araucárias, SC e do Itatiaia, RJ) e 47 unidades de conservação estaduais (como o Parque Estadual Campos do Jordão, SP), distribuídas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro (Indrusiak; Monteiro, 2009). No entanto, as Unidades de Conservação de Uso Sustentável ainda são inexpressivas e necessitam de regulamentação para que desempenhem sua função ecológica, social e econômica. O uso controlado dos recursos madeireiros e não madeireiros nas unidades de uso sustentável possibilitaria a autogestão dos espaços naturais protegidos, o controle dos estoques de madeira na região e, conseqüentemente, a redução da pressão sobre os remanescentes florestais locais.

Numa parceria entre o Centro de Monitoramento da Conservação Mundial do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Ministério do Meio Ambiente, Medeiros et al. (2011) identificaram que a visitação pública nas unidades de conservação federais e estaduais existentes no Brasil teria potencial para gerar R\$ 2,2 bilhões por ano; além de evitar a emissão de 2,8 bilhões de toneladas de carbono, cujo valor econômico estimado alcançaria R\$ 96 bilhões. Desse modo, o estímulo ao turismo nas Florestas com Araucária poderia contribuir para a geração de renda e emprego, como resultado de sua proteção.



Uma medida eficaz contra a fragmentação pode ser a gestão baseada no manejo da Floresta com Araucária, apoiada em métodos de ordenação florestal, como forma de garantir a melhoria da floresta em termos de estrutura, composição florística, manutenção da capacidade de reprodução e perpetuação das espécies, além de ordenar os recursos florestais (madeireiros e não madeireiros), de forma a atingir uma produção com rendimento sustentado (Rosot, 2007). Sanquetta et al. (2003) destacam que o manejo florestal pode ser um elemento decisivo para perpetuar a sobrevivência da araucária. O manejo pode contribuir para estimular a regeneração natural, aumentar as taxas de crescimento das árvores remanescentes, além de reduzir a taxa natural de mortalidade na floresta. Neste contexto, Pires et al. (2012) propuseram a criação de uma nova categoria de unidade de conservação, a Reserva Particular de Desenvolvimento Sustentável (RPDS). O objetivo seria a constituição, em áreas com cobertura florestal, com espécies predominantemente nativas, dotadas de importantes atributos ecológicos para uso múltiplo sustentável dos recursos florestais, madeireiros e não madeireiros. Essas áreas poderiam prover ao agricultor uma alternativa de renda para suas florestas e, concomitantemente, proporcionar à comunidade o aumento das áreas florestais protegidas. No entanto, não significaria usar todas as áreas florestais da propriedade, mas aquelas que permitissem o uso sustentável de seus recursos. Outra possibilidade seria o de formação de plantios comerciais da espécie, com garantias legais de exploração florestal, semelhante aos sistemas de plantio de espécies florestais exóticas.

O retorno econômico resultante da aplicação de um projeto de REDD como fonte pagadora pelos serviços ecossistêmicos de regulação climática (especificamente, sumidouro de carbono) em uma área de 4.000 ha de Floresta com *Araucaria montana* foi estimado por Mognon et al. (2014). De acordo com os resultados, seriam evitadas emissões de 319.745,9 Mg de CO₂ eq para um período de 50 anos. O cálculo considerou o valor de U\$ 9,43 Mg⁻¹ CO₂ eq e taxa de câmbio de U\$ 1,00 equivalente a R\$ 1,72, para obter uma renda bruta de R\$ 5.186.150,70. Com isso, o projeto REDD pagaria ao proprietário pelo desmatamento evitado, a compensação de R\$ 8.643 por mês ou R\$ 25,93 ha⁻¹ ano⁻¹ ao longo do projeto. Nesse cenário, o estoque de carbono corresponde a 284,27 Mg CO₂ eq ha⁻¹, que é o valor equivalente da biomassa aérea (não considerando o estoque no solo e na serapilheira). Contudo, o valor estimado para a tonelada de carbono pode sofrer variação ao longo do tempo e em função do projeto ou programa. Ainda assim, projetos REDD ou programas PSA, onde o estoque de carbono pode ser considerado como produto dos serviços prestados pela floresta, permitem aos proprietários rurais receberem compensação por serviços ecossistêmicos, podendo conservar seus remanescentes florestais e obter uma compensação financeira por isso.

Esse cenário associado a outros benefícios econômicos gerados pelos serviços ecossistêmicos prestados pela floresta representam alternativas econômicas aos proprietários rurais. O uso de dispositivos fiscais e tributários pode contribuir para a conservação da Floresta com Araucária. A isenção do Imposto Territorial Rural (ITR) para áreas particulares protegidas, como as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), é uma modalidade de programa de PSA. A aplicação, por exemplo, de uma alíquota progressiva para o Imposto sobre Transmissão de Bens Imóveis (ITBi), em função da qualidade e tamanho do remanescente florestal, inclusive considerando o número de araucárias na propriedade, poderia fornecer um incentivo dado pelas prefeituras dos municípios, para a restauração florestal (Pires et al., 2011).

O programa produtor de água, gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA), representa outra iniciativa para a recuperação e conservação das Florestas com Araucária. Esse programa é um exemplo de PSA que remunera produtores rurais pela manutenção dos mananciais, reflorestamento de matas ciliares e qualidade da água. Vários exemplos de sucesso desse programa são relatados por Fidalgo et al. (2017). Em 2018, o programa contava com 57 projetos em andamento,



23 em fase de contratação, abrangendo 400 mil hectares de áreas protegidas e mais de dois mil produtores beneficiados. Na mesma linha de atuação tem-se o programa governamental Bioclima Paraná (Paraná, 2012) que promove a conservação da biodiversidade, contenção dos efeitos das mudanças climáticas e proteção hídrica.

Para viabilizar a adoção de políticas públicas para a conservação e restauração de remanescentes florestais, é preciso definir indicadores socioeconômicos e ambientais, além de ações e estratégias que valorizem a conservação da Floresta com Araucária, considerando que a floresta protegida pode ser uma fonte complementar de renda para o produtor rural e de serviços ecossistêmicos para toda a sociedade. Assim, a sociedade tenderia a reconhecer os importantes serviços ecossistêmicos providos pela Floresta com Araucária, e elevaria sua disposição para compensar os custos envolvidos na sua conservação.

Considerações finais

O foco na avaliação econômica e em pagamentos por serviços ecossistêmicos tem contribuído para atrair suporte político para a conservação dos ecossistemas. A valoração dos serviços ecossistêmicos possibilita uma variedade de benefícios pelos quais os valores desses serviços são convertidos em incentivos financeiros à conservação.

Neste sentido, a avaliação de múltiplos indicadores para a determinação de serviços ecossistêmicos em sistemas florestais busca induzir a mudança de paradigmas no manejo de recursos naturais e contribuir para a tomada de decisão de gestores de recursos naturais e formuladores de políticas visando o bem-estar da sociedade. A decisão sobre uso, ocupação e manejo da terra a adotar é uma combinação entre políticas governamentais e escolhas do proprietário da terra. Informações sobre como e em que magnitude os serviços ecossistêmicos de provisão, regulação, suporte ou culturais são produzidos devem servir como base para tornar essas decisões mais consistentes. Diferentes abordagens baseadas em indicadores ambientais (conservação da água e do solo, conservação da biodiversidade e sequestro de carbono), sociais (renda familiar) e econômicos (produção das culturas) podem ser utilizadas para medir a capacidade dos ecossistemas em prestar serviços ecossistêmicos.

Referências

- ADAMS, C.; SEROA DA MOTTA, R.; ORTIZ, R. A.; REID, J.; EBERSBACH AZNAR, C.; DE ALMEIDA SINISGALLI, P. A. The use of contingent valuation for evaluating protected areas in the developing world: Economic valuation of Morro do Diabo State Park, Atlantic Rainforest, São Paulo State (Brazil). **Ecological Economics**, v. 66, n. 2-3, p. 359-370, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.008>.
- ALARCON, G. G.; FANTINI, A. C.; SALVADOR, C. H.; FARLEY, J. Additionality is in detail: Farmers' choices regarding payment for ecosystem services programs in the Atlantic forest, Brazil. **Journal of Rural Studies**, v. 54, p. 177-186, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.06.008>.
- ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, v. 14, p. 1-31, 2008.
- APREMAVI. Associação de Preservação do Meio Ambiente e da Vida. **Guia de espécies: sua majestade o Pinheiro Brasileiro**. 2018. Disponível em: <http://www.apremavi.org.br/sua-majestade-o-pinheiro-brasileiro/>. Acesso em: 10 maio 2018.



ARROW, K. J.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S.; JANSSON, B.O.; LEVIN, S.; MÄLER, K.G.; PERRINGS, C.; PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Ecological Economics**, v. 15, n. 2, p. 91-95, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00059-3](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00059-3).

BARRETO, M. Sistema faxinal: uma forma de organização camponesa em desagregação no Centro-sul do Paraná. **Terr@Plural**, v. 5, n. 2, p. 249-253, 2011.

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. **Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008**. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. República Federativa do Brasil, Brasília, 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6660.htm. Acesso em: 1 mar. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...] e dá outras providências. Brasília, DF. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 1 mar. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **SNUC: Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 76 p.

CECHIN, A.; VEIGA, J. E. O fundamento central da Economia Ecológica. In: MAY, P. (Org). (org). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, 2010. p. 33-48.

CEZIMBRA, D. J. **A utilização das escamas estéreis da pinha da Araucária (*Araucaria angustifolia*) em compósitos e sua aplicação no design de produtos moldados**. 2017. 191 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COSTANZA, R.; DALY, H. E. Natural capital and sustainable development. **Conservation Biology**, v. 6, n. 1, p. 37-46, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital, **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.

DALY, H. E.; FARLEY, J. C. **Ecological economics: principles and applications**. Washington, DC: Island Press, 2011.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7).

FARBER, S. C.; COSTANZA, R.; WILSON, M. A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 375-392, 2002.

FICHINO, B. S.; PIVELLO, V. R.; SANTOS, R. F. Trade-offs among ecosystem services under different pinion harvesting intensities in Brazilian Araucaria Forests, **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 13, p. 139-149, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/21513732.2016.1275811>.

FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; SCHULER, A. E. (ed.) **Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 78 p.

GARCIA, J. R. Valoração econômico-ecológica dos recursos naturais e dos serviços ambientais. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 8, n. 13, p. 37-55, 2013.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; DE GROOT, R.; LOMAS, P.; MONTES, C. The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1209-1218, 2010.

HERNÁNDEZ-BLANCO, M.; COSTANZA, R. Natural capital and ecosystem services. In: PAUDEL, K. P.; SCHMITZ, A. **The routledge handbook of agricultural economics**. London; New York: Routledge, 2019. p. 254-268.



IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **ICMS Ecológico por Biodiversidade**. 2019. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/ICMS-Ecológico-por-Biodiversidade>. Acesso em: 27 abr. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de recuperação automática: SIDRA**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em : 22 mar. 2020

ICKOWITZ, A.; SILLS, E.; SASSI, C. Estimating smallholder opportunity costs of REDD+: A pantropical analysis from households to carbon and back. **World Development**, v. 95, p. 15-26. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.02.022>.

INDRUSIAK, C.; MONTEIRO, S. A. Unidades de Conservação na área de distribuição da Araucária. In: FONSECA, C. R. et al. (ed.). **Floresta com Araucária: ecologia, conservação de desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 253-265.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Indicadores de sustentabilidade ambiental por bacias hidrográficas do estado do Paraná**. Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/Apresentacao.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2019.

LIU, S.; COSTANZA, R.; FARBER, S.; TROY, A. Valuing ecosystem services-theory practice and the need for a transdisciplinary synthesis. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1185, n. 1, p. 54-78, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05167.x>.

LU, Y.; WANG, R.; ZHANG, Y.; SU, H.; WANG, P.; JENKINS, A.; FERRIER, R.C.; BAILEY, M.; SQUIRE, G. Ecosystem health towards sustainability. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1890/EHS14-0013.1>.

MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P. **Valoração de recursos ambientais: metodologias e recomendações**. Campinas: IE/UNICAMP, 2004. (IE/UNICAMP. Texto para Discussão, v. 116, n. 38).

MAIA, A.; ROMEIRO, A. Validade e confiabilidade do método do custo de viagem: um estudo aplicado ao Parque Nacional da Serra Geral. **Economia Aplicada**, v. 12, n. 1, p. 103-123, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-80502008000100005>.

MASIERO, M.; PETTENELLA, D.; BOSCOLO, M.; BARUA, S. K.; ANIMON, I.; MATTA, J. R. **Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers**. Rome: FAO, 2019. (Forestry Working Paper, 11). Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca2886en/CA2886EN.pdf>. Acesso em: 11 set. 2018.

MAY, P. H.; VEIGA NETO, F. C. V.; POZO, O. V. C. **Valoração econômica da biodiversidade: estudos de caso no Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2000. 90 p.

MEDEIROS, R.; YOUNG, C. E. F.; PAVESE, H. B.; ARAÚJO, F. F. S. (ed.). **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: sumário executivo**. Brasília, DF: UNEP-WCMC, 2011. 44 p.

MELLO, A. J. M.; PERONI, N. Cultural landscapes of the Araucaria Forests in the northern plateau of Santa Catarina, Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 11, n. 51, 14 p. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13002-015-0039-x>.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Washington, DC: Island Press. 2003. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html>. Acesso em: 11 set. 2018.

MILLER, G. T.; SPOOLMAN, S. E. **Ecologia e sustentabilidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 376 p.

MOGNON, F.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L. Estoque de carbono e geração de serviços ambientais na **Floresta com Araucária**. In: SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; MOGNON, F. **Floresta com Araucária: pesquisas ecológicas de longa duração**. Curitiba: Multi-Graphic, 2014. p. 185-206.

MUELLER, C. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília, DF: Ed. da UnB: Finatec, 2007. 561 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Perspectives on biodiversity: valuing its role in an everchanging world**. Washington, DC: The National Academies Press, 1999. DOI: <https://doi.org/10.17226/9589>.



OLIVEIRA, E. B. Projeto Estradas com Araucárias. 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. 271-277.

ONU. Organização das Nações Unidas. Convention on Biological Diversity. **Text of the Convention**. Concluded at Rio de Janeiro on 5 June 1992. [S.l.], 1993. DOI: <https://www.cbd.int/convention/text/>. Acesso em: 8 abr. 2018.

PARANÁ. **Lei nº 17134 de 25 de abril de 2012**. Institui o Pagamento por Serviços Ambientais, em especial os prestados pela Conservação da Biodiversidade, integrante do Programa Bioclima Paraná, bem como dispõe sobre o Biocrédito. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=240833>. Acesso em: 8 abr. 2018.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990.

PIRES, P. T. L.; PETERS, E. L.; ZENI, D. M.; GAULKE, D. O bioma florestal com araucária e a legislação tributária brasileira. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 575-588, 2011.

PIRES, P. T. L.; ZENI, D. M.; GAULKE, D. As unidades de conservação e a floresta ombrófila mista no Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 589-603, 2012.

REIS, M. S.; MONTAGNA, T.; MATTOS, A. G.; FILIPPON, S.; LADIO, A. H.; MARQUES, A. C.; ZECHINI, A. A.; PERONI, N.; MANTOVANI, A. Domesticated landscapes in Araucaria Forests, southern Brazil: a multispecies local conservation-by-use system. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, n. 11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00011>.

RIBEIRO, R. M.; SANTOS, A. J.; BITTENCOURT, A. A política de garantia de preços mínimos para o pinhão. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 459-468, 2015.

ROMEIRO, A. R.; MAIA, A. G. **Avaliação de custos e benefícios ambientais**. Brasília, DF: ENAP, 2011. (Cadernos ENAP, 35). Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/657>. Acesso em: 8 abr. 2018

ROSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 55, p. 75-85. 2007.

SANDERSON, M. A.; ARCHER, D.; HENDRICKSON, J.; KRONBERG, S.; LIEBIG, M.; NICHOLS, K.; SCHMER, M.; TANAKA, D.; AGUILAR, J. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop–livestock systems. **Renew. Agriculture Food Systems**, v. 28, p. 129–144, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170512000312>.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CÔRTE, A. P.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 101-112, 2003.

SAY, J. B. **Cours complet d'économie politique**. Osnabrück: Otto Zeller, 1966.

SEROA DA MOTTA, R.; ORTIZ, R. O. Costs and perceptions conditioning willingness to accept payments for ecosystem services in a Brazilian case. **Ecological Economics**, v. 147, p. 333-342, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.032>.

SEROA DA MOTTA, R. Valoração e precificação dos recursos ambientais para uma economia verde. **Economia verde: desafios e oportunidades**, n. 8, p. 179-190, 2011. Disponível em: http://web01.ib.usp.br/ffa/arquivos/maio2013/Valoracao_de_recursos.pdf. Acesso em: 11 jul. 2019.

SOS Mata Atlântica. **Atlas da Mata Atlântica**. Relatório técnico período 2017-2018. São Paulo, Fundação SOS Mata Atlântica, 2019. Disponível em: https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf. Acesso em: 5 set. 2020.

SILVA, M. **A contribuição de florestas de araucária para a sustentabilidade dos sistemas faxinais**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TURNER, R. K.; DAILY, G. C. The ecosystem services framework and natural capital conservation. **Environmental and Resource Economics**, v. 39, n. 1, p. 25–35, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9176-6>.

WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 159 p.



15

**Estradas com
Araucárias: o
projeto na ótica
dos Objetivos de
Desenvolvimento
Sustentável
(ODS)**

Edilson Batista de Oliveira

Introdução

Estradas com Araucárias é um projeto de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), instituído pela Embrapa Florestas em 2010, que visa incentivar o plantio de *Araucaria angustifolia*. (Bert.) O. Kuntze nas divisas de propriedades rurais com faixas de domínio de estradas. Os produtores rurais familiares recebem PSA prestados pela presença das araucárias. Os recursos vêm da iniciativa privada, que utiliza as árvores plantadas na compensação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para promover outros serviços ambientais como paisagismo, proteção ambiental, preservação da espécie, educação ambiental, produção de pinhões, benefícios para a fauna e sombreamento para a promoção de conforto térmico para o gado. Os plantios são realizados fora da faixa de domínio das estradas (Figuras 1 e 2), atendendo rigorosamente às normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Departamentos de Estradas de Rodagem (DERs) (Oliveira, 2018).



Figura 1. Araucárias na divisa da Embrapa Florestas com a rodovia BR 476.



Figura 2. Araucárias na divisa da Embrapa Florestas com a rodovia BR 476.



As araucárias são plantadas em linhas simples, no espaçamento mínimo de 5 m entre árvores, o que possibilita diversas configurações para usos e também para a paisagem, como o entrelaçamento entre copas ou manutenção de espaços entre si pela adoção de maiores espaçamentos ou desbastes, promovendo uma visão agradável aos usuários das estradas. São contempladas desde propriedades vizinhas a rodovias federais até pequenas estradas rurais.

Em 2019, o Projeto Estradas com Araucárias foi registrado na chamada da ONU – boas práticas, histórias de sucesso e lições aprendidas na implementação da Agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com o título em inglês “Roads with Araucarias, sustainable development goals SDGAction29598”, disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/?p=29598> em 2020.

Esta Agenda é uma ferramenta orientadora para o planejamento de ações e políticas públicas perenes que procura consolidar, de forma integral e indivisível, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e ambiental, tendo como principais alvos: i) acabar com a pobreza e a fome; ii) lutar contra as desigualdades; e iii) combater as mudanças climáticas (United Nations, 2019).

Neste capítulo, o projeto Estradas com Araucárias é apresentado no contexto dos ODS. O objetivo é que a descrição de detalhes técnicos, fatos ocorridos e experiências adquiridas, ao longo de dez anos de trabalho, contribuam com novas ações ligadas ao desenvolvimento sustentável, como a construção e registro de outras práticas para a Agenda 2030. Assim, serão descritos parâmetros básicos da estruturação da prática, como a caracterização da situação-problema que levou à sua criação, seus objetivos, público-alvo, descrição da implantação, recursos financeiros, equipe, instituições parceiras, resultados alcançados, convergência da prática com políticas públicas vigentes, lições aprendidas, desafios encontrados e fatores críticos de sucesso.

Estradas com Araucárias e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Agenda 2030 dos ODS

Na Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (25-27 de setembro de 2015), os líderes de Governos e de Estado de 193 países adotaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a qual contém um conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS foram construídos a partir dos resultados da Rio+20 e levam em conta o legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), oito metas de combate à pobreza que o mundo se comprometeu em atingir até 2030. Os ODS são integrados e indivisíveis, e mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental (United Nations, 2019, 2019). São 17 objetivos (e 169 metas) inter-relacionados e interdependentes, e que exigem soluções integradas (Figura 1). Esses objetivos tratam de temáticas diversas que incluem questões centrais como erradicação da pobreza, segurança alimentar e agricultura, saúde e bem-estar, educação de qualidade, igualdade de gênero, redução das desigualdades, energia, água e saneamento, condições decentes de trabalho, padrões sustentáveis de produção e de consumo, mudanças climáticas, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres, crescimento econômico inclusivo, paz, justiça e meios de implementação desses valores



Figura 3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: Nações Unidas (2015).

Por meio do Decreto nº 8.892, de 27 de outubro de 2016 (Brasil, 2016), o Governo Federal criou a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com a finalidade de internalizar, difundir e dar transparência ao processo de implementação da Agenda 2030, para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, subscrita pela República Federativa do Brasil. Entre as funções da Comissão estão: identificar, sistematizar e divulgar boas práticas e iniciativas que contribuam para o alcance dos ODS; e promover a articulação com órgãos e entidades públicas das unidades federativas para a disseminação e a implementação dos ODS nos níveis estadual, distrital e municipal.

A Embrapa, juntamente com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa), faz parte deste processo por meio da Rede ODS e participa de uma chamada para o registro de boas práticas, histórias de sucesso e lições aprendidas na implementação da Agenda 2030 e dos ODS, estabelecida pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (ONU - DESA).

Aderência do projeto Estradas com Araucárias aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Estradas com Araucárias tem aderência a vários ODS, principalmente ao ODS15 (Vida terrestre). Em escala decrescente de magnitude da aderência, os seguintes ODS são destacados:

- ODS15. “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”. O projeto busca contribuir não apenas com a conservação da espécie *A. angustifolia*, mas também com a sobrevivência de diversas espécies de aves e outros animais igualmente ameaçados de extinção. A ameaça a estas espécies ocorre em função



da araucária produzir seus pinhões no inverno, e estes constituirão uma das únicas opções de alimento para a fauna, nessa estação.

- ODS13. “Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e os seus impactos”. As árvores sequestram carbono, que é transformado em biomassa, contribuindo, assim, para sua redução na atmosfera. A prática está baseada em Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) para produtores rurais familiares, por meio de projeto de compensação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), por parte de empresas da iniciativa privada que, além de buscar a mitigação de GEE, compensam parte de suas emissões com o carbono sequestrado pelas araucárias.
- ODS2. “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável”. O projeto se adere à ODS2 pela produção de alimento de elevado valor nutritivo (pinhões) e pela melhoria da produtividade na pecuária, em função do serviço ambiental de conforto térmico para o gado, proporcionado pelo sombreamento das araucárias plantadas em linha, e forma de plantio adequada à integração Lavoura-Pecuária-Florestas (ILPF).
- Outros ODS com aderência do projeto basicamente resultante de efeitos dos ODS citados anteriormente são: ODS1. “Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares” (a aderência do projeto ocorre pelo aumento de renda do produtor rural familiar, tanto pelo PSA quanto pela oportunidade de vender pinhões); ODS3. “Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades” (a arborização da propriedade rural enriquece o meio ambiente, fator básico para a vida saudável), ODS4. “Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida, para todos” (o projeto traz a internalização da consciência ambiental, por meio da educação ambiental) e ODS12. (a arborização da propriedade se integra aos sistemas produtivos tradicionais, tornando-os mais eficientes e sustentáveis).

Caracterização da situação-problema no projeto Estrada com Araucárias

Duas situações-problema foram destacadas como justificativas para o desenvolvimento do projeto:

- A araucária, também conhecida como pinheiro-brasileiro ou pinheiro-do-paraná, é uma espécie símbolo da região Sul do Brasil. Entretanto, sua exploração intensiva durante décadas, para o abastecimento do mercado madeireiro interno e para a exportação, aliada ao desmatamento para a expansão da agropecuária, provocou forte declínio populacional da espécie. Da araucária muito se perdeu, principalmente pela drástica redução da área de cobertura da espécie e pela erosão genética. Árvores com genes responsáveis por características especiais, como produção superior de pinhões e de madeira, muito provavelmente, foram cortadas. (Oliveira et al., 2018).

A araucária está incluída nas listas oficiais de espécies ameaçadas de extinção, como na Lista Vermelha de espécies ameaçadas (IUCN, 2018), onde é considerada criticamente ameaçada e na Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção, conforme Portaria MMA nº 243, de 17 de dezembro de 2014.

Juntamente com a araucária, diversas espécies de aves e animais se tornaram igualmente ameaçadas. O motivo é que a espécie frutifica no inverno e seus pinhões são uma das únicas opções de alimento para a fauna na estação. Infelizmente, a legislação que protege a espécie gerou um efeito negativo junto aos produtores rurais. Desestimulados, alegando perda de área agrícola e dificuldade em obter autorização dos órgãos ambientais competentes para o corte de árvores, eles passaram a não plantar araucária e, inclusive, a evitar a sua regeneração natural.

- Grandes rodovias e até mesmo pequenas estradas, em propriedades rurais familiares, tendem a impactar fortemente o ambiente, descaracterizando-o devido às ações antrópicas, em especial, pelo tráfego de veículos motorizados. Estes impactos constituem problema grave e de grande dimensão. Por outro lado, as divisas das propriedades agropecuárias com estradas constituem em um excelente espaço para o cultivo de árvores. A prática da arborização nestas áreas é adotada por proprietários rurais em várias regiões (Figura 4), entretanto, ainda em escala muito pequena. Trata-se do uso de um espaço ocioso que os produtores rurais têm maior aceitação para arborizar. Plantadas assim, as árvores competem pouco com as atividades econômicas da propriedade e ainda trazem benefícios aos produtores, tal como o uso para moirões vivos e também de quebra-vento, especialmente na sua fase juvenil, quando os galhos estão mais baixos e, em fase mais avançada, com a formação de vegetação sob as copas.



Figura 4. Araucárias em propriedade rural do município de Colombo, PR.

Objetivos do projeto

Diante do potencial das regiões Sul e Sudeste para a utilização das araucárias, da necessidade de seu plantio visando à sua conservação e da possibilidade de contribuir para a recuperação de áreas lindeiras das estradas, foi idealizado pela Embrapa Florestas o projeto Estradas com Araucárias que objetiva implementar o seu plantio nas divisas de propriedades rurais com estradas, fora da faixa de domínio das estradas, atendendo rigorosamente às normas do DNIT e DERs.

É comum as áreas lindeiras das estradas apresentarem exemplares desta espécie, em plantios feitos pelos proprietários. A araucária é a espécie símbolo de muitas cidades, sendo excelente para o cultivo na forma proposta pelo projeto e, ainda, apresenta uma beleza paisagística única devido à sua forma e dimensões singulares. A prática é aplicável a outras espécies florestais e, assim, constitui um modelo viável a ser utilizado em qualquer região do País.

Público-alvo

O público-alvo são os produtores rurais familiares. Entretanto, busca-se a inserção voluntária, sem PSA, de médias e grandes propriedades rurais.



Descrição da implantação do projeto

O projeto incentiva o plantio de *A. angustifolia* em divisas de propriedades rurais familiares com faixas de domínio de estradas.

Para estimular a adesão de participantes ao projeto, há o pagamento por serviços ambientais, para produtores rurais familiares plantarem e cuidarem das araucárias. Os produtores plantam 200 mudas de araucária por propriedade e recebem PSA de R\$ 5,00 para cada uma, totalizando uma renda anual extra de R\$ 1.000,00, compreendendo desde o plantio até as árvores completarem plenamente seu desenvolvimento e começarem a produzir pinhão (10 a 15 anos de pagamentos anuais). O patrocinador, responsável pelos PSA, vem sendo a empresa de transporte e logística OTD Brasil. A empresa destaca como principal motivação para patrocinar o projeto, a possibilidade de compensar parte das suas emissões de carbono, por meio do plantio de uma espécie arbórea símbolo e ameaçada de extinção, exatamente em divisas das propriedades rurais com estradas, locais por onde percorrem suas unidades de transporte.

A implantação e a condução do projeto ocorrem a partir de procedimentos e providências tais como: estrutura de viveiros e insumos diversos para a produção de mudas; disponibilização de insumos e de equipes de campo para a organização dos produtores; orientação técnica e acompanhamento dos plantios. A contrapartida com instituições federais, estaduais e municipais envolve atividades e ações ligadas ao custeio com pessoal, bolsas para estagiários, combustível, mudas, insumos, material de treinamento e divulgação; disponibilização de estrutura física para treinamentos e suporte; treinamento de técnicos para a assistência ao plantio das mudas e manutenção das árvores, além de veículo para o deslocamento de equipe de campo e transporte das mudas.

A participação do produtor rural familiar, além de ceder a área para o plantio, inclui tarefas de mão de obra para a implantação, manutenção e manejo das mudas e o cuidado efetivo com cada muda de araucária plantada em sua propriedade.

Instituições parceiras do projeto

A empresa OTD Logistics S.A. mantém financeiramente o projeto, sendo responsável pelo pagamento aos produtores rurais. No estado do Paraná, o projeto conta, desde o seu início, com o apoio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sema), o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (Seab), Universidade do Centro-Oeste do Paraná (Unicentro) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR). Em Santa Catarina, conta com a participação da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc).

Participação dos beneficiários

A participação do produtor rural familiar inclui tarefas de implantação e de cuidados com as araucárias plantadas em sua propriedade.



Resultados alcançados

A araucária tem-se mostrado uma espécie totalmente adequada ao modelo proposto. Seu plantio em linhas simples nas divisas das propriedades rurais é muito favorável ao desenvolvimento vigoroso das árvores.

O projeto foi iniciado há oito anos e se encontra implantado em seis municípios do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo: Lapa, Fernandes Pinheiro, Fazenda Rio Grande e São João no estado do Paraná, Caçador e Concórdia em Santa Catarina e Siberi no Rio Grande do Sul. São 70 propriedades rurais familiares que plantaram e cuidam de cerca de 20 mil araucárias. Vários produtores ampliaram seus plantios para além do limite mínimo exigido, de 200 mudas por propriedade. Todos passaram a ter renda anual com PSA, sendo a parcela de 2017 a sexta anuidade de R\$ 1 mil.

Em 2019 o módulo do projeto foi implantado no município de São João, PR. Os trabalhos contam com a parceria de professores e alunos da Escola Rural do Distrito Ouro Verde, nome dado em homenagem às populações naturais de araucária que já foram fundamentais à economia desse município, mas foram praticamente dizimadas pelo extrativismo. Os alunos têm faixa etária de quatro a onze anos, sendo 90% filhos de agricultores familiares. O sexto município a receber o projeto foi Concórdia, SC e o sétimo foi Santa Cruz do Sul, RS, ambos com uma propriedade cada.

Premiações e reportagens também foram resultados relevantes do projeto, especialmente por estimular o interesse dos patrocinadores em sua ampliação e divulgar a prática de plantar árvores em divisas de propriedades. Assim, podem ser destacados:

- Prêmio Frotas e Fretes Verdes (2015). Categoria Sustentabilidade em Produtos.
- Prêmio Social e Ambiental Chico Mendes. Conferido pelo Instituto Internacional de Pesquisa e Responsabilidade Socioambiental “Chico Mendes” (2016).
- Concessão pela Sema-PR do Selo Verde Paraná, nos anos de 2015 e 2016, para o patrocinador do Projeto.
- Prêmio von Martius de Sustentabilidade (<http://www.premiovonmartius.com.br/>). Um dos três premiados na categoria Natureza (2017).
- Um dos projetos de sustentabilidade para a Copa 2014, sede Curitiba. (apresentado pela Sema-PR).
- Prêmio Expressão em Ecologia 2018 – Categoria Marketing Ecológico.

Dezenas de reportagens foram realizadas, com destaque para:

- Programa Globo Rural: <https://globoplay.globo.com/v/4266176/>.
- Série Brasil 2050 - Tópico Biodiversidade. “Brasil 2050 - 2ª Temporada - Biodiversidade” por Miração Filmes. O vídeo faz parte do projeto Brasil 2050, do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). Estradas com Araucárias divide o DVD sobre Biodiversidade com a SOS Mata Atlântica.
- O projeto compõe o capítulo 23 do livro Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica (Oliveira, 2015) e pode ser acessado em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024446>.
- O Projeto Estradas com Araucárias foi discutido no livro: Sistemas estaduais de pagamento por serviços ambientais de Tejeiro e Stanton (2014).
- Link para vídeo mostrando o módulo do projeto no Colégio Agrícola da Lapa https://www.youtube.com/watch?v=p_0TCI_81XU&t=129s.



- O Projeto foi divulgado no exterior, pela Red Iberoamericana de Bosques Modelo (RIABM): <http://www.bosquesmodelo.net/proyecto-carreteras-con-araucarias-bosquemodelo-cacador-brasil/>.

Convergência da prática com políticas públicas vigentes

O plantio de araucárias, além de auxiliar na recuperação de um ecossistema ameaçado, traz o benefício direto da captura de carbono da atmosfera e a conversão do mesmo em biomassa florestal. Há ainda muitos benefícios advindos, tais como a melhoria do ciclo hidrológico, o embelezamento cênico, a melhoria do microclima e o aumento da biodiversidade. Um dos benefícios mais importantes é a internalização da consciência ambiental, por meio da educação ambiental.

O projeto tem atraído empresas a destinar recursos para PSA, possibilitando estimular atividades que trazem benefícios em diferentes níveis:

- Local: o pagamento do serviço de carbono contribui para um aumento significativo do número de araucárias, melhorando a beleza cênica e trazendo benefícios ambientais e socioeconômicos.
- Estadual: o projeto tem forte potencial para estimular a adesão de outras empresas, possibilitando sua proliferação em diferentes municípios, formando corredores verdes de araucárias.
- Nacional: o projeto contribui com as metas de redução de emissões dispostas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas e serve de modelo para outros estados, com outras espécies também ameaçadas de extinção e de importância socioeconômica e ambiental.
- Global: o PSA de carbono contribui para a mitigação da interferência humana nas mudanças climáticas.

Replicabilidade

As divisas das propriedades agropecuárias com estradas constituem um excelente espaço para o cultivo de árvores. A prática da arborização nestas áreas é adotada por proprietários rurais em várias regiões, entretanto, ainda em escala muito pequena. Trata-se do uso de espaço que os produtores rurais têm maior aceitação para arborizar. Plantadas assim, as árvores competem pouco com as atividades econômicas da propriedade e ainda trazem benefícios aos produtores, tais como o uso para mourões vivos e quebra-vento. A prática pode ser replicada em todo território nacional utilizando outras espécies florestais que se adaptam bem ao plantio em linhas simples nas divisas, por exemplo ipês e seringueira. O modelo pode ainda contemplar mais de uma espécie na linha plantada.

Alcance territorial do projeto Estradas com Araucárias

Basicamente, o projeto abrange toda a área coberta pela Floresta Ombrófila Mista (FOM) no Brasil, nos estados de Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul e de forma esparsa nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais. Entretanto, esta área pode ser expandida para locais fora da FOM, especialmente locais onde a araucária também ocorre de forma natural, como as áreas de transição, nos limites de outros ecossistemas, por exemplo, conforme relata Carvalho (2003). Ressalta-se que este modelo pode ser utilizado para outras espécies florestais, tornando-se aplicável a qualquer região do País.



Lições aprendidas

Desafios encontrados

O maior desafio dos projetos de PSA é conseguir patrocinador na iniciativa privada, principalmente de empresas de pequeno e médio porte. Entretanto, esta barreira foi vencida pelo forte apelo ambiental e social do projeto e por atender ao interesse comercial dos patrocinadores em associar suas marcas ao projeto.

Fatores que contribuíram ao sucesso

As instituições parceiras têm sido fundamentais, empenhando-se para a execução regular dos PSA. A Emater-PR, por exemplo, auxiliou na assistência técnica e o IAP produziu as mudas. Também tem havido a participação de secretarias municipais de meio ambiente e agricultura.

O marketing vem contribuindo muito para o sucesso. Nele se concentra grande parte dos interesses dos patrocinadores, que faz com que o projeto se torne atrativo comercialmente.

O destaque que a mídia vem promovendo para a prática de plantio (preconizada pelo projeto) de araucárias nas divisas de propriedades rurais tem sido fundamental. Além da mídia tradicional, as instituições participantes sempre procuraram destacá-lo por meio de seus setores de comunicação. A estratégia é fazer com que a prática de plantar araucárias nas divisas de propriedades se dissemine ao máximo em toda a região Sul do País. A reportagem do programa Globo Rural, por exemplo, no dia de sua veiculação, teve mais de seiscentos compartilhamentos no Facebook e mais de 250 mil visualizações.

Estradas com Araucárias é uma prática de fácil aceitação pelos produtores rurais porque não prejudica a atividade econômica vigente na propriedade rural. Por si mesma, sem o PSA, a prática já traz benefícios à propriedade, como seu embelezamento e produção de pinhões. Esse projeto é sustentável no longo prazo, entre dez e 15 anos encerra-se o pagamento aos produtores, e estes passarão a ter renda pela comercialização de pinhões das araucárias plantadas.

Segurança e modelos ideais

Segurança é o primeiro item observado na implantação dos módulos do projeto. Assim, os plantios são realizados fora da faixa de domínio das estradas, atendendo às normas do DNIT e DERs. São também evitados locais que possam apresentar qualquer perigo a veículos (ex: parte externa de curvas).

Com a distância de plantio preconizada de, pelo menos, cinco metros entre árvores, as copas das araucárias se entrelaçam, evitando longos trechos de visual intercalado com árvores e espaços vazios.

Recomenda-se que, sempre que possível, seja conduzida a vegetação sob as araucárias ou então cultivadas espécies que deem retorno econômico. Entre estas espécies, destaca-se a erva-mate, listada pelo DNIT no documento Brasil (2005), página 37, juntamente com a araucária, como espécie sempre verde recomendada para proteção contra erosão e minimização da propagação de queimadas. No âmbito do projeto, estas características levam a um modelo considerado tecnicamente ideal em termos ambientais, mostrado na Figura 5.

Foto: Sigrid Lievens



Figura 5. Paisagem na Serra Gaúcha.

Contemplando a vegetação que se forma em faixa abaixo das copas das araucárias, o modelo torna-se mais eficiente na proteção da estrada e da propriedade, serve como corta-fogo, quebra-vento, beneficia a fauna, captura mais carbono e atende normas de segurança.

Note-se que diversos modelos podem ser considerados como “ideais” dependendo do objetivo de cada um. Nas Figuras 1 e 2 podem ser observados plantios sem as faixas de vegetação abaixo das araucárias, mas considerados adequados para os locais onde foram implantados. O modelo mostrado na Figura 4 é comum em áreas internas das propriedades.

As araucárias do projeto possuem características de formação de copas grandes que, com maior disponibilidade de água, luz e nutrientes, produzem mais pinhões, o que poderia colocar em risco a segurança da fauna, com possibilidades de atropelamentos em locais de tráfego rápido. Entretanto, este risco se reduz devido à faixa de domínio mais larga em estradas com estas características. Além disso, muitas propriedades familiares não possuem divisas com estradas em extensão suficiente para comportar o total de 200 mudas preconizado pelo projeto. Assim, os plantios contemplam também áreas internas alternativas, principalmente de divisas com outras propriedades envolvidas no projeto, mas sempre mantendo o padrão de linhas simples de plantio.

A disseminação do projeto

Considera-se que o melhor resultado do projeto seja a disseminação que a prática vem tendo entre os produtores, principalmente os não familiares, que voluntariamente, sem PSA, passam a plantar araucárias em suas divisas, pelas vantagens que estas árvores oferecem, tais como o embelezamento das propriedades e a produção de pinhões. O marketing e os diversos prêmios obtidos também são considerados resultados de extrema importância. Concentra-se aí grande parte dos interesses dos patrocinadores e, assim, o projeto se torna atrativo comercialmente. O destaque na mídia é um forte promotor dos plantios de araucárias nas divisas das propriedades. Além da mídia comercial, as instituições participantes sempre procuraram destacá-lo por meio de seus setores de comunicação. Estrategicamente, o projeto busca a disseminação e adoção voluntária desta prática de forte impacto na preservação da espécie araucária.



Agradecimentos

À fotógrafa belga Sigrid Lievens (“Sigalice”) por ter, gentilmente, possibilitado a utilização da Figura 5.

À OTD Logistics S.A., aos seus proprietários e, em especial, ao seu gerente geral, economista Paulo Caffeu, pelo apoio e patrocínio com pagamento por serviços ambientais.

Às instituições parceiras e aos Produtores Rurais Familiares pela valiosa participação neste e em outros projetos de pesquisa científica.

Referências

BRASIL. **Decreto nº 8.892, de 27 de outubro de 2016**. Brasília, DF, 2016. Cria a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/D8892.htm. Acesso em: 6 jan. 2020. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil em 31 out. 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Instruções de proteção ambiental das faixas de domínio e lindeiras das rodovias federais**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 161 p. (IPR. Publicação, 713).

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p. (Coleção espécies arbóreas brasileiras, v. 1).

LAVRATTI, P.; TEJEIRO, P.; STANTON, M. (org.). **Sistemas estaduais de pagamento por serviços ambientais: diagnóstico, lições aprendidas e desafios para a futura legislação**. São Paulo: Instituto O Direito Por Um Planeta Verde, 2014. p. 38-73.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030>. Acesso em 08 ago. 2020.

OLIVEIRA, E. B. de. Projeto Estradas com Araucárias. 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. 271-277. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024446>.

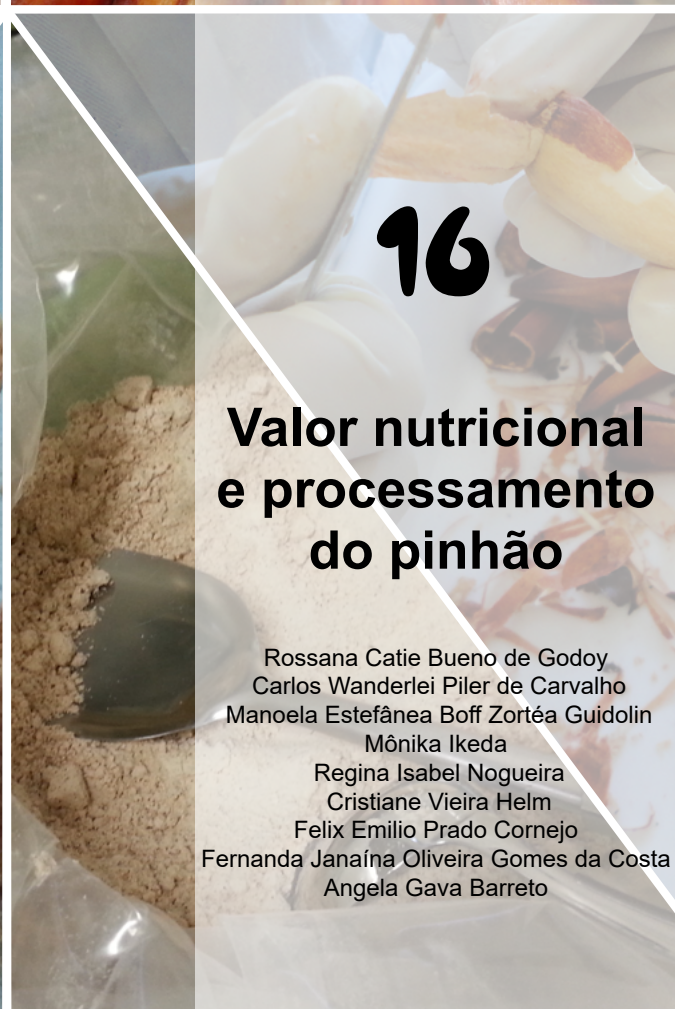
OLIVEIRA, E. B. Projeto Estradas com Araucárias: pagamento por serviços ambientais e marketing ecológico. In: SEMINÁRIO SUL-BRASILEIRO SOBRE A SUSTENTABILIDADE DA ARAUCÁRIA, 3., 2018, Passo Fundo. **Uso sustentável, produção, inovação, educação, legislação, conservação**: anais. Tapera: Lew, 2018. p. 20-23. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1095241>.

OLIVEIRA, E. B. de; WENDLING, I.; ROSOT, M. A. D.; SOUSA, V. A. de. Pesquisa científica, conservação e utilização da floresta com araucárias. In: SEMINÁRIO SUL-BRASILEIRO SOBRE A SUSTENTABILIDADE DA ARAUCÁRIA, 3., 2018, Passo Fundo. **Uso sustentável, produção, inovação, educação, legislação, conservação**: anais. Tapera: Lew, 2018. p. 96-99.

THE IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 25 abr. 2018.

TEJEIRO, P.; STANTON, M. **Sistemas estaduais de pagamento por serviços ambientais: diagnóstico, lições aprendidas e desafios para a futura legislação**. São Paulo: Instituto O Direito por um Planeta Verde, 2014. p. 38-73.

UNITED NATIONS. **Helping governments and stakeholders make the SDGs a reality**. New York, [2019]. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/>. Acesso em: 6 jan. 2020.



16

Valor nutricional e processamento do pinhão

Rossana Catie Bueno de Godoy
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho
Manoela Estefânea Boff Zortéa Guidolin
Mônika Ikeda
Regina Isabel Nogueira
Cristiane Vieira Helm
Felix Emilio Prado Cornejo
Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa
Angela Gava Barreto

Introdução

A semente de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, conhecida como pinhão, é um alimento típico e tradicional da região Sul do Brasil, com grande aceitação devido ao seu sabor característico. É tido pelos consumidores como um alimento benéfico à saúde, nutritivo e que pode ser ingerido por toda a família. Tem forte apelo cultural, pois seu consumo remete às memórias familiares de infância, rurais e folclóricas (Zuin; Zuin, 2008; Godoy et al., 2018).

O uso do pinhão para a elaboração de alimentos, dentro do conceito de sustentabilidade de *A. angustifolia*, contribui de forma significativa para a valorização da espécie (Zanette, 2010; Pinto et al., 2012). A renda total obtida com a exploração do pinhão é 22% maior que aquela oriunda da extração da madeira (Guerra et al., 2002). Todo e qualquer processo que agregue renda à semente de araucária colabora, significativamente, para a sua preservação (Zanette, 2010; Pinto et al., 2012).

Uma das estratégias de aproveitamento do pinhão é sua inclusão como ingrediente na gastronomia, o que já vem ocorrendo de forma sistemática e contínua (Godoy et al., 2013). Outra vertente é o seu processamento em alimentos de longa duração, que possam estender o período de oferta anual que é limitado, devido ao baixo grau de industrialização.

A carência de produtos elaborados com pinhão constitui num dos principais entraves dessa cadeia produtiva, sendo fundamental o desenvolvimento e a disponibilização de produtos de maior valor agregado (Corso et al., 2002; Balbinot et al., 2008).

O pinhão como matéria-prima agroindustrial

O pinhão é formado basicamente pelo tegumento que é o envoltório externo duro, conhecido por casca, pelo endosperma que é o material de reserva alimentar e pelo embrião (Figura 1).



Figura 1. Semente de pinhão com casca (tegumento); endosperma e embrião.

As sementes são carnosas, tendo de 3 cm a 8 cm de comprimento, por 1 cm a 2,5 cm de largura e peso médio de 8,7 g. A sua forma é cônica-arredondada-oblonga, com ápice terminando com um espinho achatado e curvado para a base (Reitz; Klein, 1966; Carvalho, 1994). A amêndoa é branco-róseo-clara, rica em reservas energéticas, principalmente amido e aminoácidos. No centro da semente, encontra-se o embrião com os cotilédones brancos ou rosados claros, que são retos

ou com a extremidade dobrada e constituem cinco sextos do comprimento do embrião (Reitz; Klein, 1966; Carvalho, 1994). Sua casca possui coloração acastanhada, amarelada ou avermelhada (Godoy et al., 2018). A parte comestível é muito dura quando crua, necessitando, portanto, de um processo de abrandamento de sua textura para permitir o consumo.

Um dos fatores limitantes ao processamento alimentício do pinhão é a retirada das cascas. Tradicionalmente, essa etapa é realizada usualmente com auxílio de uma faca adaptada para esta finalidade, o que torna o processo inadequado para aplicações agroindustriais de beneficiamento do material. A Embrapa Agroindústria de Alimentos desenvolveu uma alternativa para o descascamento e a separação das cascas e amêndoas de pinhão, com posterior desidratação e obtenção de uma farinha (Cornejo et al., 2014).

Nesse processo, o pinhão é submetido a trituração em um moinho de facas para rompimento da casca, sem a utilização da peneira de separação por tamanho (Figura 2). O material resultante é uma mistura de casca e amêndoa (parte comestível). Essa mistura é colocada em uma caixa coletora contendo água potável (B) e, devido à diferença de densidade entre os dois materiais, ocorre a separação. As cascas flutuam e, dessa forma, são facilmente retiradas da água, com o auxílio de uma peneira. Quando a casca é removida por completo, escorre-se cuidadosamente a



Figura 2. Descascamento mecânico do pinhão (A) moinho de facas; trituração do pinhão inteiro (B); material triturado na água (C); secagem das amêndoas e cascas (D).



água da caixa coletora com as amêndoas trituradas ao fundo. Dessa forma, tem-se o material totalmente separado.

Para a secagem das amêndoas, poderá ser utilizado qualquer sistema que atinja a temperatura no intervalo de 50 °C a 60 °C e que tenha uma circulação de ar de, pelo menos, 0,5 m s⁻¹. Após um período de 18 a 24 horas, as amêndoas desidratadas apresentam teor de umidade de 3,5% a 5,0%, devendo ser trituradas em moinho de facas/martelo com peneira de abertura de 2 mm ou com malha diferente, conforme a granulometria desejada, para obtenção da farinha.

Valor nutricional do pinhão

Do ponto de vista nutricional, o pinhão como matéria-prima é um alimento que contém carboidratos complexos como o amido, amido resistente, fibras alimentares, minerais, baixos teores de lipídios e sódio. Alguns compostos presentes no pinhão têm caráter funcional como os antioxidantes e o amido resistente, com potencial de promoção de saúde para o consumidor. O amido resistente é um tipo de amido que não é completamente digerido e absorvido no estômago ou no intestino delgado. Em vez disso, passa para o cólon e é convertido em ácidos graxos de cadeia curta pela microbiota, o que é benéfico à saúde.

O pinhão é um alimento calórico, devido à grande quantidade de amido (35%), que é o maior constituinte na sua composição centesimal. Contém alto valor energético (160 kcal 100 g⁻¹) e baixo teor de lipídios (<1%) e proteínas (7%) (Soares et al., 2014). Além disso, pode ser considerado um alimento funcional por conter altos teores de fibras alimentares (13 g 100 g⁻¹), compostos fenólicos antioxidantes e amido resistente (3 g 100 g⁻¹), segundo Timm et al. (2014). Portanto, o consumo de pinhão pode trazer diversos benefícios à saúde humana, como prevenir doenças intestinais, acelerar o trânsito gastrointestinal e reduzir o índice glicêmico (Cordenunsi et al., 2004; Pisa et al., 2013).

Dados parciais de pesquisas realizadas pela Embrapa Florestas, com pinhões coletados em diferentes épocas do ano, indicaram algumas variações na composição físico-química das sementes (Heberle et al., 2015). O material foi coletado no Banco Ativo de Germoplasma de araucária, localizado em Colombo, PR, durante o ano de 2014 (Tabela 1), aos 34 anos de idade. Os pinhões precoces foram coletados de março a abril, os de ciclo médio coletados de maio a junho e os tardios coletados de julho a agosto.

Tabela 1. Composição centesimal média de amostras e valor calórico total de pinhão de ciclo precoce, médio e tardio (base úmida).

Composição	Pinhão		
	Precoce	Ciclo médio	Tardio
Umidade (g 100 g ⁻¹)	46,04	47,19	49,19
Minerais (g 100 g ⁻¹)	1,24	1,35	1,48
Fibra alimentar total (g 100 g ⁻¹)	13,31	15,20	10,32
Proteínas (g 100 g ⁻¹)	5,70	7,30	8,00
Lipídios (g 100 g ⁻¹)	0,97	0,41	0,58
Carboidratos totais (g 100 g ⁻¹)	32,74	28,55	30,43
Valor Calórico Total (kcal 100 g ⁻¹)	162,49	147,09	158,94

Fonte: Heberle et al. (2015).



A composição também pode variar de acordo com a forma com que o pinhão é processado, em geral cozido ou assado. O processo de cocção incorpora compostos fenólicos presentes na casca que migram para a amêndoa durante o cozimento, sendo benéfico à saúde (Cordenunsi et al., 2004).

A fração mineral do pinhão é composta por cobre, zinco, manganês, ferro, magnésio, cálcio, fósforo, enxofre e sódio. Porém, merece destaque o fornecimento de potássio ao organismo humano, mineral que ajuda a controlar a pressão arterial e também a baixa concentração de sódio (Valor Nutricional do Pinhão, 2018) (Tabela 2).

Corrêa e Helm (2010) determinaram o perfil de ácidos graxos em amostras de pinhão cru e cozido e relataram os ácidos linoleico e oleico como os principais, cujas concentrações para o pinhão cru foram de 47,66% e 21,40% e para o pinhão cozido de 38,29% e 28,35%, respectivamente. Esses ácidos contribuem para a redução do colesterol do sangue e, conseqüentemente, auxiliam na prevenção de doenças cardiovasculares (Corrêa et al., 2010).

Tabela 2. Composição mineral média de amostras de pinhão (mg 100 g⁻¹).

Cu	0,20	0,17
Zn	0,66	0,58
Mn	0,19	0,24
Fe	0,90	1,55
Mg	49,38	40,70
Ca	24,72	29,93
P	135,43	117,80
S	39,20	36,91
K	692,13	500,46
Na	0,67	1,53

Fonte: Valor Nutricional do Pinhão (2018).

Amido de pinhão

Dentre os produtos que podem ser obtidos a partir do pinhão, o amido merece especial atenção em função das possibilidades de uso deste ingrediente, tanto para a área farmacêutica e química, quanto para a própria indústria alimentícia.

Na indústria de alimentos, a viscosidade e o poder geleificante do amido são influenciados pela proporção de amilose/amilopectina, teor de proteína e lipídio, além da estrutura, forma e tamanho dos grânulos. Estes são fatores fundamentais para a sua utilização, bem como o controle de propriedades mecânicas, de textura, adesão, tendência à retrogradação, entre outras (Smith, 2001; Daiuto et al., 2002).

O amido pode ser extraído do pinhão de acordo com a metodologia descrita por Costa et al. (2014) (Figura 3). O revestimento principal (casca espessa lignificada) e a película que adere às sementes devem ser removidos, assim como o embrião (maior porção lipídica da semente) nas etapas iniciais do processo. As amêndoas são, então, trituradas com o dobro do volume de água, durante cinco minutos, aproximadamente.

A suspensão é filtrada em tecido de poliéster fino ou em peneira com abertura de 0,053 mm e decantada. Também pode ser usada a centrifugação como opção a decantação. Nesse caso, a solução é centrifugada sob 2.000 rpm, por cinco minutos. A água resultante da decantação ou centrifugação é descartada, cuidadosamente, preservando o precipitado no fundo do recipiente. Segue para secagem em estufa com circulação de ar forçado, por 24 horas, com controle de temperatura para que não exceda 40 °C.



Figura 3. Fluxograma do processamento do amido de pinhão

O amido é, então, macerado e submetido a peneira fina com abertura de 0,063 mm (Figura 4).



Figura 4. Amido de pinhão.

As micrografias dos grânulos de amido de pinhão encontram-se na Figura 5 e as imagens obtidas com e sem luz polarizada na Figura 6. O tamanho dos grânulos de amido de pinhão variou entre 7 μm e 20 μm (diâmetro médio) (Zortéa-Guidolin et al., 2017b).

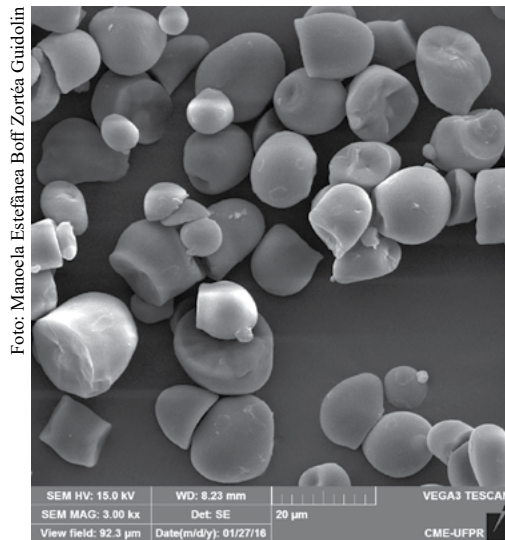


Figura 5. Micrografia dos grânulos de amido de pinhão obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Aumento de 3.000 vezes.

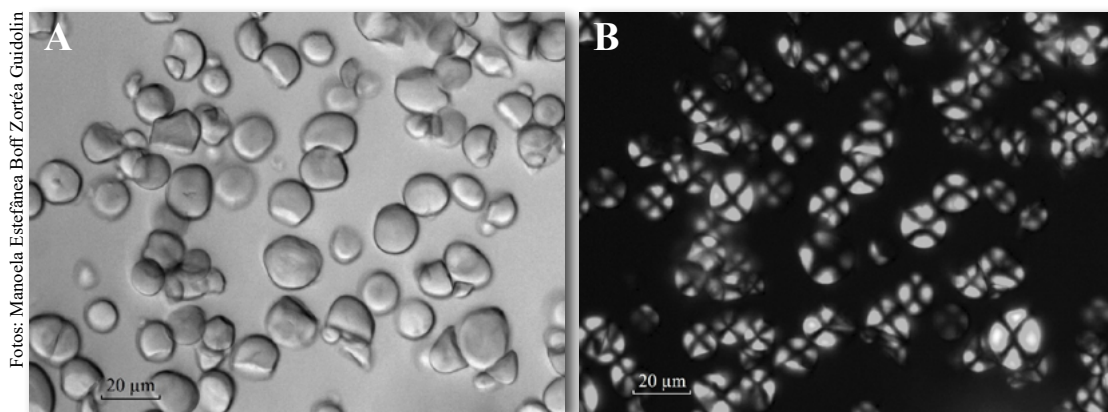


Figura 6. Micrografias de amidos de pinhão sem (A) e com (B) luz polarizada, com ampliação de 400 vezes.

Quando comparados aos grânulos de amido de outra fonte mais comum, como a mandioca, por exemplo, os grânulos de amido de pinhão apresentam diâmetros menores, porém são morfologicamente semelhantes (Cereda, 2001), ou seja, possuem formas túrgidas e homogêneas, com característica de forma oval, elipsóide hemisférica ou truncada e superfície sem irregularidades.

Os amidos de pinhão apresentam cristalinidade do tipo C, típica do amido de ervilha e de algumas variedades de feijão (Rosenthal et al., 1974). A amilopectina dos amidos de pinhão apresenta massa molecular média ponderada (M_w) de $3,0-3,9 \times 10^8 \text{ g mol}^{-1}$, raio médio de rotação z (R_z) de 270-283 nm. Além disso, segundo Zortéa-Guidolin et al. (2017b), este tipo de amido é composto por amilopectina, com maiores proporções de cadeias de tamanho médio-curto grau de polimerização (DP) de 13 a 24 e comprimento médio de cadeia ramificada de 19,7-21,4 unidades de glicose anidra (AGU). Quanto maior a presença de cadeias curtas de amilopectina, mais fracas são as interações entre as moléculas, o que permite que cadeias curtas absorvam água rapidamente e alcancem facilmente um elevado poder de inchamento (Singh et al., 2006; Chung et al., 2011).

Além disso, sobre estes amidos, pode-se dizer que a temperatura de empastamento está diretamente relacionada à temperatura de gelatinização (T_0), ou seja, o momento da perda das interações de duplas hélices da amilopectina e birrefringência corresponde à perda da cristalinidade dos grânulos, a qual varia de $59 \text{ }^\circ\text{C}$ a $62 \text{ }^\circ\text{C}$, segundo análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC).

A viscosidade aparente da pasta dos amidos de pinhão pode ser determinada por uma suspensão de massa total de 28 g contendo 8% de amido (m/m em base seca) em água deionizada, submetida à leitura em um rápido visco-analisador modelo RVA-4 (Newport Scientific, Warriewood, Austrália). O seguinte regime de tempo/temperatura pode ser considerado: $50 \text{ }^\circ\text{C}$ durante um minuto, seguido de aquecimento até $95 \text{ }^\circ\text{C}$, a uma taxa de $6 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$, manutenção da pasta sob temperatura de $95 \text{ }^\circ\text{C}$, por cinco minutos e resfriamento de $95 \text{ }^\circ\text{C}$ a $50 \text{ }^\circ\text{C}$, a uma taxa de $6 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$. Durante todo o experimento, o RVA-4 mantém a suspensão sob agitação a 160 rpm (Song; Jane, 2000).

Desse modo, picos de viscosidade máxima que variam de 2.231,0 cP a 2.678,0 cP são medidos a partir da resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico. Os mesmos são registrados durante o empastamento, quando os grânulos, em sua maioria, encontram-se totalmente inchados, após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento. A manutenção da temperatura a $95 \text{ }^\circ\text{C}$ e agitação constante provocam o rompimento desses grânulos, a solubilização dos polímeros e o alinhamento molecular dentro do campo de



atrito do instrumento, causando uma redução da viscosidade (*breakdown*) de 797,5 cP a 1337,0 cP. Ao ocorrer resfriamento, alguns polissacarídeos liberados do interior dos grânulos começam a fazer novas associações por meio de novas ligações de hidrogênio e formam um precipitado ou gel, com aumento na viscosidade e opacidade da pasta. Este processo, chamado de retrogradação ou *setback*, varia de 1.046,5 cP a 1.429,5 cP, atingindo viscosidade final de 2.287,0-2.955,0 cP (Stahl et al., 2007; Costa et al., 2013; Zortéa-Guidolin et al., 2017b).

De acordo com Englyst et al. (1992) e, ainda, Ramos et al. (2009), o amido é classificado conforme a velocidade com a qual é digerido *in vitro*: amido rapidamente digerido (ARD), amido lentamente digerido (ALD) ou amido resistente (AR), em função da sua estrutura físico-química, da sua susceptibilidade à hidrólise enzimática, e de acordo com a taxa de liberação de glicose e sua absorção no trato gastrointestinal.

Do ponto de vista nutricional, o amido de pinhão apresenta níveis consideráveis de amido de baixa digestibilidade (ALD) e amido resistente (AR), tornando-o promissor quando utilizado para alimentos saudáveis / nutricionais (shakes, farinhas, suplementos nutricionais).

Pré-mistura de bolo com farinha de pinhão

O mercado de misturas prontas para bolos tem crescido muito nos últimos anos, levando as empresas a investirem na melhoria de produtos tradicionais, tais como o enriquecimento nutricional, formulações inovadoras, além de alternativas para nichos específicos, como é o caso das pessoas celíacas, que têm intolerância ao glúten (Gujral; Rosell, 2004; Pellegrini; Agostoni, 2015).

A farinha de pinhão, por não possuir glúten, é adequada ao segmento de produtos para pessoas celíacas. As farinhas sucedâneas às de trigo devem apresentar propriedades capazes de reduzir, ao máximo, os efeitos negativos da substituição, evitando diferenças tecnológicas e sensoriais na obtenção dos novos alimentos. Além disso, o produto desenvolvido deve ser economicamente viável para o mercado dos consumidores celíacos (Borges et al., 2006).

Para atingir os parâmetros esperados de um determinado produto, as proporções dos ingredientes de uma mistura devem ser ajustadas de forma que não haja falha na homogeneização no produto final (Onwulata, 2005). Os ingredientes utilizados para o desenvolvimento da pré-mistura de bolo para celíacos foram: farinha de pinhão, farinha de arroz, amido de milho, açúcar, gordura, fermento químico sal e aditivos.

A farinha de pinhão foi obtida conforme o processo desenvolvido e descrito por Godoy et al. (2020), o qual inclui as etapas de seleção da matéria-prima, descascamento mecânico, secagem e moagem (Figuras 7 e 8). O produto apresenta 4,95% de umidade; 80,99% de amido; 5,98% de proteína; 1,56% de lipídios; 4,77% de fibra bruta e 1,75% de cinzas. O perfil mineral é composto (em mg 100 g⁻¹) de: cálcio 22,40; cobre 0,47; ferro 1,70; fósforo 130,47; magnésio 39,91; manganês 0,58 e zinco 0,83 (Barreto et al., 2015, 2017).

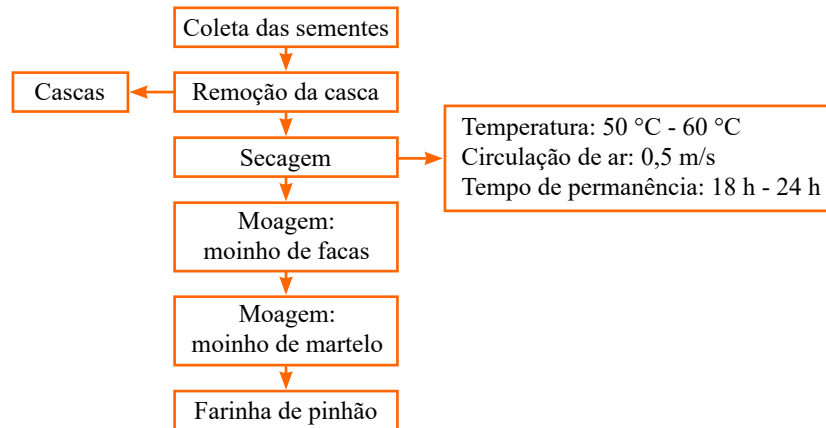
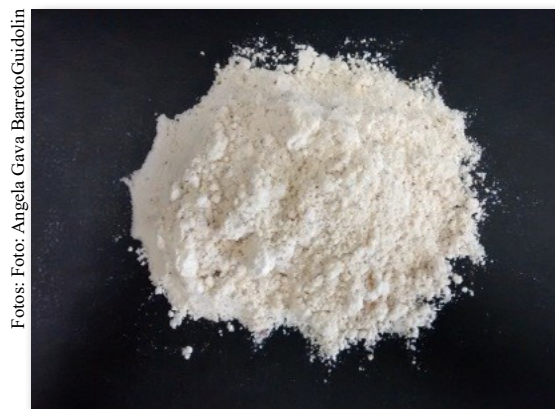


Figura 7. Diagrama do processo de obtenção da farinha de pinhão.



Fotos: Foto: Angela Gava BarretoGuidolin

Figura 8. Farinha de pinhão.

Além da farinha de pinhão, foi adicionada farinha de arroz, tradicionalmente usada em produtos isentos de glúten, por não ter sabor pronunciado (Turabi et al., 2010); amido, responsável pela formação da estrutura do produto final (Souza; Andrade, 2000); açúcar, como amaciante da massa e sabor (Griswold, 1972; El-Dash; Germani, 1994); gordura, para manutenção da textura e dos aromas; fermento, para ganho de volume da massa (Moretto; Fett, 1999); sal, como realçador de sabor (El-Dash; Germani, 1994; Calvel, 2003) e aditivos químicos, para melhorar a textura e a conservação, durante a vida útil (Whiterhurst, 2004).

A incorporação de farinha de pinhão promove a redução progressiva nas propriedades de viscosidade final e tendência à retrogradação dos produtos elaborados como bolos, podendo atribuir ao produto final maior estabilidade e resistência às influências externas, como a umidade relativa e a temperatura. Além disso, contribui para o aumento no teor de fibras, promovendo um produto mais enriquecido. Bolos contendo 37,5% da farinha de pinhão (Figura 9) na pré-mistura tiveram boa aceitação em relação ao sabor, com textura mais estável ao longo do tempo, quando comparados aos bolos para celíacos contendo apenas farinha de arroz (Ikeda et al., 2018).



Foto: Mônica Ikeda

Figura 9. Bolos elaborados com pré-mistura contendo farinha de pinhão em diversas concentrações.

***Snacks* ou extrusados de pinhão**

Segundo Fellows (2006), as mudanças econômicas, a evolução da industrialização, a disponibilidade de alimentos bem como formas de trabalho vêm transformando os estilos tradicionais de vida, incluindo-se aqui os hábitos alimentares. Em decorrência da mudança no estilo de vida e pressionados pela falta de tempo, os consumidores estão deixando para os produtores de alimentos a tarefa de encontrar soluções simples para se alimentar de modo mais fácil, rápido e prazeroso. Nesta linha, os alimentos do tipo *snacks* tornaram-se comuns no hábito alimentar da maior parte da população mundial. Para a produção de *snacks*, a tecnologia do cozimento por extrusão termoplástica é utilizada.

O alto teor de carboidratos (83,62%) na farinha de pinhão, sendo superior aos níveis de carboidratos encontrados no milho e arroz, que possuem 77,9% (Nascimento et al., 2012) e 80,16% (Carvalho et al., 2012), respectivamente, evidencia que o uso desta matéria-prima tem alta aplicabilidade para a extrusão termoplástica (Zortéa-Guidolin et al., 2017a).

O processo de extrusão termoplástica consiste em uma rosca ou parafuso sem fim que empurra o material através de uma matriz. A matriz constitui-se de uma peça com um ou mais furos circulares ou de outro formato, como triangular, em formato de lua etc. A extrusora pode possuir um ou dois parafusos, sendo a de dois parafusos a de maior valor de mercado, uma vez que proporciona maior versatilidade ao se adequar a diferentes tipos de misturas.

O termo termoplástico é oriundo do uso de temperatura, a qual pode ser adicionada ao sistema na forma de resistências elétricas, vapor ou, até mesmo, na forma de conversão de energia mecânica em térmica, por excessivo atrito do parafuso. Quando a matéria-prima é amilácea, ou seja, possui teor de amido superior a 50%, como é o caso da farinha de pinhão da araucária (~70%), a mistura ao ser processada deve estar com umidade inferior a 20% e a temperatura do cilindro da extrusora deve ser maior que 100 °C. Assim, este sistema de diversas variáveis deve ser controlado para a obtenção de um produto com características desejáveis, tais como expansão e crocância.

A farinha de pinhão (Figuras 7 e 8) com diferentes umidades foi submetida a diferentes variações de velocidade e temperatura, durante o processo de extrusão termoplástica, a fim conhecer o seu comportamento e definir parâmetros de processamento. Farinhas de pinhões descascados e secos foram acondicionadas com diferentes teores de umidade (15,5% a 22,0%) em base úmida e uma

extrusora de parafuso único 19/20 DN (Brabender, Duisburg, Alemanha), acoplada a um reômetro de torque Plasti-Corder Lab Station (Brabender, Duisburg, Alemanha), equipada com matriz circular de 3 mm de diâmetro, parafuso com taxa de compressão de 4:1, girando na velocidade variável de 130 rpm a 250 rpm. A taxa de alimentação foi fixada em 5 kg h^{-1} . O perfil de temperatura desta extrusora de três zonas de aquecimento foi de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ e $100 \text{ }^\circ\text{C}$, correspondentes às regiões de alimentação e de mistura, respectivamente, e variável de $136 \text{ }^\circ\text{C}$ a $200 \text{ }^\circ\text{C}$ na terceira e última zona de aquecimento. É importante destacar que o conhecimento das condições de umidade da farinha de pinhão, velocidade de rotação do parafuso e temperatura da última zona de aquecimento foram necessários para estabelecer as melhores condições para a obtenção de produtos extrusados com melhor expansão e textura.

Os produtos extrusados passam por secagem após saírem da matriz (Carvalho; Ascheri, 2004), a fim de garantir maior crocância, diminuição da atividade de água e da atividade microbiana. Esses efeitos acarretam aumento na vida de prateleira do produto, devido a uma redução na velocidade das reações de degradação.

O diagrama de fluxo de produção, desde a matéria-prima inicial (pinhões) até a obtenção do produto final (*snacks*/extrusados de pinhão) encontra-se na Figura 10.



Figura 10. Diagrama de fluxo de produção de extrusados de pinhão.

Seguindo os parâmetros definidos nesse processo, aproximadamente 375 g de extrusados (com aproximadamente 7,0% umidade) foram obtidos a partir de 1 kg de pinhão (com casca e aproximadamente 43,0% de umidade), o equivalente a 37,5% de rendimento em base úmida (Figura 11).



Foto: Manoela Estefânea Boff Zortéa Guidolin

Figura 11. Extrusados de pinhão.

No processamento de extrusão de produtos amiláceos, diferente da temperatura que não influenciou na característica dos mesmos, a umidade tem importante papel na expansão e textura do produto final. A farinha de pinhão com umidade elevada (acima de 20%) gerou extrusados com maior dureza, mensurada com auxílio de um texturômetro, e mais claros (com maior luminosidade), além de serem menos expandidos ou compactos, menores índices de expansão seccional (IES) e volumétrico (IEV). O aumento da velocidade de rotação do parafuso (de 100 rpm para 250 rpm) resultou em extrusados com maior expansão e de melhor crocância.

Os extrusados de pinhão possuem sabor natural e atributos sensoriais aceitáveis, o que pode gerar economia em relação à industrialização deste produto alimentar, uma vez que a adição de aromatizantes não é necessária. Além disso, esses fornecem uma opção viável para dietas sem glúten e são também alimentos ricos em carboidratos ($86,20 \pm 1,16\%$ em base seca), com baixo conteúdo lipídico ($0,88 \pm 0,13\%$ de lipídios) e considerável teor de fibra alimentar ($4,68 \pm 0,55\%$) (Zortéa-Guidolin et al., 2017a).

Desse modo, o cozimento da farinha de pinhão por extrusão termoplástica pode ser uma alternativa interessante, para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios a partir de sementes de pinhão, como extrusados expandidos, farinhas pré-cozidas originadas da moagem de extrusados e cereais matinais de vários formatos, pois apresentam ótima expansão e textura.

Referências

- BALBINOT, R.; GARZEL, J. C.; WEBER, K. S.; RIBEIRO, A. B. Tendências de consumo e preço de comercialização do pinhão (semente da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.), no Estado do Paraná. **Revista do Setor de Agrárias e Ambientais**, v. 4, n. 3, p. 463-472, 2008.
- BARRETO, A. G.; NOGUEIRA, R. I.; MATTOS, L. S. de; GODOY, R. C. B. de; FREITAS, S. P. Effect of drying temperature on the nutritional quality of the pinhão (*Araucaria angustifolia*) flour. In: EUROPEAN DRYING CONFERENCE, 5., 2015, Budapest. **Eurodrying'2015**. Budapest: [s. n.], 2015.
- BARRETO, A. G.; SOBRAL, L. de A.; GUERRA, A. F.; NOGUEIRA, R. I.; GODOY, R. C. B. de; FREITAS, S. P. Moisture sorption isotherms and shelf life evaluation of pinhão (*Araucaria angustifolia*) flour. In: EUROPEAN DRYING CONFERENCE, 6., 2017, Liège. **Innovations in drying: bridging the gap between academia and industry: book of abstracts**. Liège: [s.n.], 2017. 7 p.



- BORGES, J. T. da S.; PIROZI, M. R.; LUCIA, S. M. D.; PEREIRA, P. C.; MORAES, A. R. F.; CASTRO, V. C. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração e bolos. **Boletim do Ceppa**, v. 24, n. 1, p. 145-162, 2006.
- CALVEL, R. **O pão francês e os produtos correlatos**: tecnologia e prática da panificação. Fortaleza: Senai/Certren-Departamento Regional do Ceará, 2003. p. 28-34.
- CARVALHO, A. V.; BASSINELLO, P. Z.; MATTIETTO, R. de A.; CARVALHO, R. N.; RIOS, A. de O.; SECCADIO, L. L. Processamento e caracterização de snack extrudado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 72-83, 2012.
- CARVALHO, C. W. P. de; ASCHERI, J. L. R. **Produção de extrusados doces**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2004. 18 p. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 56).
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p.
- CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. 221 p.
- CHUNG, H.; LIU, Q.; LEE, L.; WEI, D. Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 968-975, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.011>.
- CORDENUNSI, B. R.; MENEZES, E. W. de; GENOVESE, M. I.; COLLI, C.; SOUZA, A. G. de, LAJOLO, F. M. Chemical composition and glycemic index of Brazilian pine seeds (*Araucaria angustifolia*), **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 52, n. 11, p. 3412-3416, 2004.
- CORNEJO, F. E. P.; NOGUEIRA, R. I.; CARVALHO, C. W. P. de; GODOY, R. C. B. de; OLIVEIRA, A. H.; SANTOS, L. F. C.; BARRETO, A. G.; FREITAS, S. P. **Descascamento e secagem de pinhão (*Araucaria angustifolia*) para a obtenção de farinha**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2014. 3 p. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Comunicado técnico, 206).
- CORRÊA, M. de F.; HELM, C. V. Caracterização da composição nutricional do pinhão in natura e cozido (*Araucaria angustifolia*). In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 9., 2010, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Documentos, 198). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/873918>.
- CORRÊA, M. F.; CORDEIRO, C.; HELM, C. V.; PUCCI, P. B.; HANSEL, F. A. Caracterização química de farinhas de pinhão. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOPROCESSOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS, 4.; ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 10, 2010, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: UFPR, 2010. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/865170>.
- CORSO, N. M.; MARTINS, G.; SANTOS, A. J.; BITTENCOURT, E. A cadeia produtiva do pinhão no Estado do Paraná: aspectos produtivos e comerciais. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2.; SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIRÁVEIS, 1., 2002, Curitiba. **Aproveitamento tecnológico da floresta ibero-americana**: fonte de suprimento para o mundo: anais. [Curitiba]: Universidade Federal do Paraná: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, [2002?]. p. 138.
- COSTA, F. J. O. G. da; COUTO, J. M. C.; WASZCZYNSKYJ, N.; GODOY, R. C. B. de; CARVALHO, C. W. P. de; WALTER, E. H. M. **Extração de amido de pinhão**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 349). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1012304>.
- COSTA, F. J. O. G. da; LEIVAS, C. L.; WASZCZYNSKYJ, N.; GODOY, R. C. B. de; HELM, C. V.; COLMAN, T. A. D.; SCHNITZLER, E. Characterisation of native starches of seeds of *Araucaria angustifolia* from four Germplasm Collections. **Thermochimica Acta**, v. 565, p. 172-177, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2013.04.030>.
- DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P.; CARVALHO, L. J. C. B. Características e propriedades do amido extraído de camadas do tecido da raiz de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, p. 217-223, 2002.
- EL-DASH, A.; GERMANI, R. (ed.). **Tecnologia de farinhas mistas**: uso de farinhas mistas na produção de bolos. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1994. v. 7, 31 p.
- ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, suppl. 2, p. S33-S50, 1992.



- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.
- GODOY, R. C. B. de; DELIZA, R.; NEGRE, M. de F. de O.; SANTOS, G. G. dos. Consumidor de pinhão: hábitos, atributos de importância e percepção. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, e201801655, 8 p., 2018. DOI: <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801655>.
- GODOY, R. C. B. de; NEGRE, M. de F. de O.; MENDES, L. M.; SIQUEIRA, G. L. de A.; HELM, C. V. **O pinhão na culinária**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 137 p.
- GODOY, R. C. B. de; NOGUEIRA, R. I.; CARVALHO, C. W. P. de; CORNEJO, F. E. P.; BARRETO, A. G.; FREITAS, S. P.; GUIDOLIN, M. E. B. Z. **Processamento de farinhas de pinhão crua e pré-cozida**. Colombo: Embrapa Florestas, 2020. 12 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 451). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124084>.
- GRISWOLD, R. M. **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo: Edgar Blucher, 1972. 460 p.
- GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da Araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (org.). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC São Paulo, 2002. p. 85-101.
- GUJRAL, H. S.; ROSELL, C. M. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 225-230, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.10.004>.
- HEBERLE, A. F.; SOARES, T. R.; HELM, C. V. Caracterização da composição química, minerais e perfil de ácidos graxos em amostras de pinhão: safra 2014. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 14., 2015, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. p. 26-27. (Embrapa Florestas. Documentos, 278). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1023559>.
- IKEDA, M.; CARVALHO, C. W. P. de; HELM, C. V.; AZEREDO, H. M. C. de; GODOY, R. C. B. de; RIBANI, R. H. Influence of Brazilian pine seed flour addition on rheological, chemical and sensory properties of gluten-free rice flour cakes. **Ciência Rural**, v. 48, n. 6, e20170732, 2018.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Processamento e análise de biscoitos**. São Paulo, 1999. 97 p.
- NASCIMENTO, E. M. G. C. do; CARVALHO, C. W. P. de; TAKEITI, C. Y.; FREITAS D. D. G. C.; ASCHERI, J. L. R. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. **Food Research International**, v. 45, p. 434-443, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.009>.
- ONWULATA, C. **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. 514 p.
- PELLEGRINI, N.; AGOSTONI, C. Nutritional aspects of gluten-free products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 2380-2385, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7101>.
- PINTO, V. Z.; VANIER, N. L.; KLEIN, B.; ZAVAREZE, E. da R.; ELIAS, M. C.; GUTKOSKI, L. C.; HELBIG, E.; DIAS, A. R. G. Physicochemical, crystallinity, pasting and thermal properties of heat-moisture-treated pinhão starch. **Starch/Stärke**, v. 64, p. 855-863, 2012.
- PISA, T. P.; MATTOS, C. F. N. de; REIS, C. A. F. Composição química do pinhão com enfoque na fração do amido. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 12., 2013, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. (Embrapa Florestas. Documentos, 253). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/978856>.
- RAMOS, D. P.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p. 479-483, 2009.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariáceas**. Itajai: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p. (Flora ilustrada catarinense).
- ROSENTHAL, F. R. T.; NAKAMURA, T.; SPÍNDOLA, A. M. C.; JOCHIMEK, M. R. Structure of starch granules. Part 3. Some considerations of leguminosae and tuberosae. **Starch**, v. 26, p. 50-56, 1974.
- SINGH, J.; MCCARTHY, O. J.; SINGH, H. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 64, p. 569-581, 2006.
- SMITH, A. M. The biosynthesis of the starch granule. **Biomacromolecules**, n. 2, p. 335-341, 2001.



SOARES, T. R.; SUDOL, L. F.; HELM, C. V. Avaliação nutricional de pinhão em diferentes estádios de maturação. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 13., 2014, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. p. 21. (Embrapa Florestas. Documentos, 267). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1010700>.

SONG, Y.; JANE, J. Characterization of barley starches of waxy, normal, and high amylose varieties. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, p. 365-377, 2000.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

STAHL, J. A.; LOBATO, L. P.; BOCHI, V. C.; KUBOTA, E. H.; GUTKOSKI, L. C.; EMANUELLI, T. Physicochemical properties of Pinhão (*Araucaria angustifolia*, Bert, O. Ktze) starch phosphates. **LWT: Food Science and Technology**, v. 40, p. 1206-1214, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.07.015>.

TIMM, T. G.; TAVARES, L. B. B.; HELM, C. V. Avaliação nutricional e sensorial de barrinhas de cereais contendo suspensão de nanofibrilas de celulose de casca de pinhão. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 13., 2014, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. p. 22. (Embrapa Florestas. Documentos, 267). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1010710>.

TURABI, E.; SUMMU, G.; SAHIN, S. Quantitative analysis of macro and microstructure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 8, p. 755-762, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.001>.

VALOR nutricional do pinhão. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. Folder. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108204>.

ZANETTE, F. **A araucária como fruteira para a produção de pinhões**. Jaboticabal, 2010. 25 p. (Série frutas nativas, 2).

ZORTÉA-GUIDOLIN, M. E. B.; CARVALHO, C. W. P.; GODOY, R. C. B.; DEMIATE, I. M.; SCHEER, A. P. Influence of extrusion cooking on in vitro digestibility, physical and sensory properties of Brazilian pine seeds flour (*Araucaria angustifolia*). **Journal of Food Science**, v. 82, n. 4, p. 977-984, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13686>.

ZORTÉA-GUIDOLIN, M. E. B.; DEMIATE, I. M.; GODOY, R. C. B. de; SCHEER, A. de P.; GREWELL, D.; JANE, J. Structural and functional characterization of starches from Brazilian pine seeds (*Araucaria angustifolia*). **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 19-26, 2017b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.022>.

ZUIN, L. F. S.; ZUIN, P. B. Produção de alimentos tradicionais contribuindo para o desenvolvimento local/regional e dos pequenos produtores rurais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 4, n. 1, p. 109-127, 2008.

WHITERHURST, R. J. **Emulsifiers in food technology**. Northampton, UK: Blackwell Publishing, 2004. 264 p.



17

Uso dos produtos da araucária: madeira e coprodutos

Patrícia Raquel Silva Zanoni
Ana Cláudia da Silveira
Edson Alves de Lima
Patrícia Póvoa de Mattos
Rafaella de Angeli Curto
Washington Luiz Esteves Magalhães
Marcelo Lazzarotto



Introdução

Dentre os produtos derivados da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., a madeira historicamente tem posição de destaque. Desde a segunda metade do século XIX, as florestas nativas de araucária foram intensivamente exploradas visando aos mais diversos usos da madeira, tais como a construção de casas e a fabricação de móveis. Durante muito tempo, esta foi a principal espécie madeireira da região Sul, e chegou a representar 92 % das exportações de madeira do País em 1963 (Wendling; Zanette, 2017). Em contraposição ao impacto econômico positivo, esta atividade indiscriminada culminou no esgotamento das reservas nativas, que ficaram restritas a uma área menor que 3% daquela original (BRDE, 2005). Embora tenham sido empreendidas iniciativas de cultivo de araucária, particularmente, por grandes empresas na década de 1960, estas lograram resultados de produtividade abaixo do esperado por diversos motivos. Paralelamente, a introdução de espécies exóticas de rápido crescimento (eucalipto e pínus) induziu uma gradativa preferência por estas espécies em detrimento da araucária. Além disso, sua inclusão na lista de espécies ameaçadas de extinção motivou o recrudescimento da legislação que atualmente proíbe o corte das nativas, embora regulamente a exploração das plantadas, desde que os requisitos legais do órgão ambiental competente sejam atendidos (Mattos et al., 2011; Wendling; Zanette, 2017). Diante desta situação, reduziu-se, gradativamente, a participação da madeira de araucária no cenário comercial nacional e internacional e ganharam força seus derivados não madeireiros. O mais importante deles é certamente o pinhão, que está discutido no Capítulo 16 deste livro. Mas também emergiram pesquisas relativas a outras formas de aproveitamento da árvore de araucária em pé, tais como o uso de resíduos¹ como cascas de pinhão, acículas etc para geração de energia, elaboração de materiais ou obtenção de bioativos.

Esse capítulo aborda características da madeira e suas aplicações tradicionais (como madeira serrada e roliça, produção de celulose e papel, energia), bem como potenciais formas de aproveitamento de outras partes da araucária (galhos, casca, nós, resina, acículas, falhas e cascas de pinhão) e perspectivas futuras. A intenção é apresentar esta valiosa espécie nativa como uma possível provedora de múltiplos produtos e usos, que vão além dos conhecidos pinhão e madeira (Figura 1).

Ressalta-se que não estão aqui contempladas, mas são igualmente importantes, as utilizações da araucária para fins paisagísticos e ambientais, provendo proteção e alimento para fauna, sequestro de carbono, proteção para o solo e águas, recuperação ambiental, além de estímulo ao turismo e singular efeito ornamental, dentre outros benefícios.

¹ Diante da perspectiva de usos que será mostrada para estes “resíduos”, serão tratados como “coprodutos”.

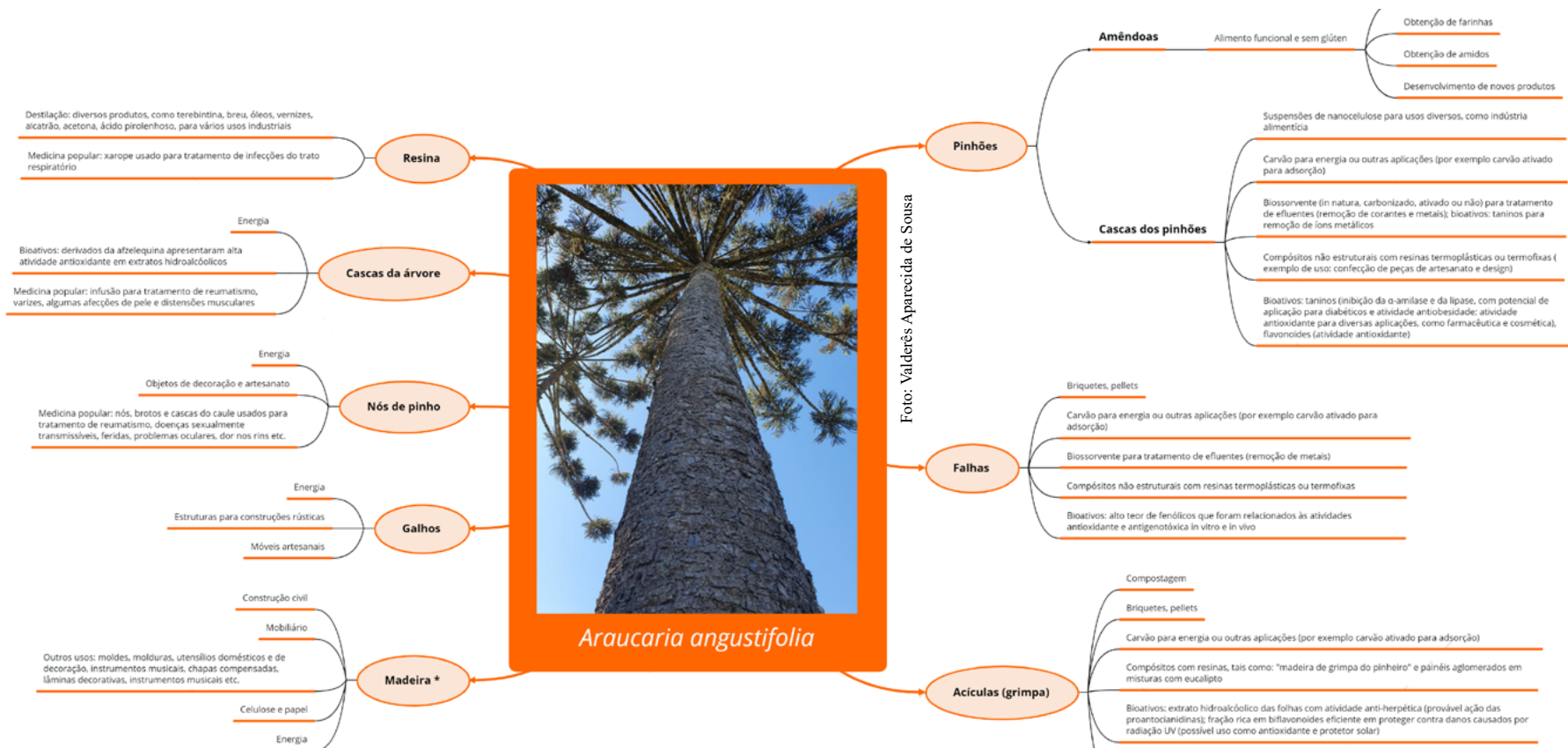


Figura 1. Produtos de *Araucaria angustifolia* e possíveis aplicações.

Tabela 1. Ficha técnica da madeira de araucária.

	Pinho-do-paraná	Fonte
	<p>Nome científico: <i>Araucaria angustifolia</i> (O. Bertol.) Kuntze, Araucariaceae</p> <p>Outros nomes populares: pinheiro-do-paraná, pinho, pinho-brasileiro</p> <p>Ocorrência: Brasil: Mata Atlântica, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo</p>	
Características gerais	<p>Características sensoriais: alburno e cerne pouco distintos pela cor, cerne branco-amarelado, freqüentemente com manchas largas róseo-avermelhadas (em árvores mais velhas, o cerne pode apresentar coloração amarronzada); brilho moderado; cheiro e gosto pouco acentuados, característicos de resina, agradável; densidade baixa; macia ao corte; grã direita; textura fina</p> <p>Descrição anatômica macroscópica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parênquima axial: invisível mesmo sob lente • Raios: visíveis apenas sob lente no topo, na face tangencial é invisível mesmo sob lente • Camadas de crescimento: distintas; transição suave entre o lenho inicial e tardio • Canais de resina: ausentes 	IPT (1983, 1989a)
Durabilidade/tratamento	<p>Durabilidade natural: a madeira de pinho-do-paraná, em ensaio de laboratório, demonstrou ter baixa resistência ao apodrecimento e ao ataque de cupins-de-madeira-seca</p> <p>A madeira é muito susceptível aos fungos causadores da mancha azul, cupins e perfuradores marinhos. Ocasionalmente podem ocorrer danos causados por brocas do grupo dos curculionídeos. O alburno não é susceptível às brocas de madeiras do gênero <i>Lyctus</i></p> <p>Tratabilidade: a madeira de pinho-do-paraná, em ensaios de laboratório, quando submetida à impregnação sob pressão, demonstrou ter alta permeabilidade às soluções preservantes</p>	IPT, 1989a Berni et al. (1979) IPT (1989a)
Características de processamento	<p>Trabalhabilidade: a Madeira de pinho-do-paraná é fácil de ser trabalhada com ferramentas manuais ou máquinas. Se ocorrer Madeira de compressão, pode haver distorção durante o aplainamento. Fácil de colar e aceita bem acabamentos superficiais</p> <p>É fácil de desdobrar, aplainar e colar permitindo bom acabamento</p> <p>Secagem: a secagem ao ar é difícil por apresentar tendência à torção e rachaduras. O processo de secagem em estufa deve ser controlado cuidadosamente, para que se possa obter madeira de qualidade. Programa de secagem pode ser obtido em Jankowsky (1990)</p>	Jankowsky (1990) IPT (1989a) Jankowsky (1990)
Propriedades físicas	<p>Densidade de massa (r):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aparente a 15% de umidade (rap, 15): 550 kg/m³ • Básica (rbásica): 458 kg/m³ <p>Contração:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radial: 4,0 % • Tangencial: 7,8 % • Volumétrica: 13,2 % <p>Resultados obtidos de acordo com a Norma ABNT MB26/53 (NBR 6230/85)</p>	IPT (1989a)

Continua...



Pinho-do-paraná		Fonte
Propriedades mecânicas	<p>Flexão:</p> <ul style="list-style-type: none"> Resistência (f_M): Madeira verde: 59,7 MPa Madeira a 15% de umidade: 85,6 MPa Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 25,1 MPa Módulo de elasticidade - Madeira verde: 10719 MPa <p>Resultados obtidos de acordo com a Norma ABNT MB26/53 (NBR 6230/85)</p> <p>Compressão paralela às fibras:</p> <ul style="list-style-type: none"> Resistência (f_{c0}): Madeira verde: 26,3 MPa Madeira a 15% de umidade: 41,4 MPa Coefficiente de influência de umidade: 4,7% Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 20,6 MPa Módulo de elasticidade - Madeira verde: 13514 MPa <p>Resultados obtidos de acordo com a Norma ABNT MB26/53 (NBR 6230/85)</p> <p>Outras propriedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> Resistência ao impacto na flexão - Madeira a 15% (choque): 14,7 Cisalhamento - Madeira verde: 6,7 MPa Dureza janka paralela - Madeira verde: 2687 N Tração normal às fibras - Madeira verde: 3,4 MPa Fendilhamento - Madeira verde: 0,4 MPa <p>Resultados obtidos de acordo com a Norma ABNT MB26/53 (NBR 6230/85)</p>	IPT (1989a)
Usos	<p>Construção civil:</p> <ul style="list-style-type: none"> Leve interna, estrutural: ripas, partes secundárias de estruturas Leve interna, utilidade geral: cordões, guarnições, rodapés, forros, lambris Uso temporário: pontaletes, andaimes, fôrmas para concreto <p>Mobiliário:</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilidade geral: móveis estândar, partes internas de móveis inclusive daqueles decorativos <p>Outros usos:</p> <p>Moldes e modelos, molduras para quadros, instrumentos musicais ou parte deles, cabos de vassoura, lápis, palitos, chapas compensadas, lâminas decorativas, artigos de esporte e brinquedos, embalagens, utensílios domésticos, montantes de escadas singelas ou extensíveis</p>	IPT (2021) e Zenid (2009)

*Foram elencados usos possíveis da madeira, mas sua exploração está em declínio devido às restrições legais e ambientais. Madeira escassa e em processo rápido de substituição. Existem reflorestamentos feitos com esta espécie. Os dados apresentados nesta ficha também servem como referência para a busca de espécies alternativas ao pinho-do-paraná.

Estado da arte

Características e aplicações da madeira de araucária

Características da madeira

As características sensoriais, anatômicas, físicas e mecânicas da madeira de *A. angustifolia*, bem como o aspecto das faces tangencial/radial e fotomicrografia (10x) podem ser vistos na Tabela 1 e na Figura 2. Outros dados de composição química (teor de extrativos, lignina e holocelulose), poder calorífico e dimensões médias de traqueídeos são apresentados na Tabela 2. Destaca-se, no entanto, que se trata de informações gerais levantadas com base na amostragem da espécie e que, na prática, os valores podem variar sensivelmente.



Figura 2. Aspecto das faces tangencial/radial (A e B) e fotomicrografia - 10x (C).

Fonte: IPT (2021).

Tabela 2. Caracterização da madeira de *Araucaria angustifolia* (floresta plantada) com 38 anos de idade, amostrada em Rio Negro, PR.

Propriedade	Resultado
Densidade básica da madeira (g cm^{-3})	0,425
Densidade básica da casca (g cm^{-3})	0,395
Composição química	
Teor de extrativos (%)	3,8
Teor de lignina (%)	27,8
Teor de holocelulose (%)	68,4
Poder calorífico (cal g^{-1})	4.670,0
Dimensão média dos traqueídeos	
Comprimento (mm)	5,84
Largura (μm)	54,95
Espessura da parede (μm)	7,3

Fonte: Mattos et al. (2006).

Diversos fatores podem afetar as características tecnológicas da madeira, tais como a procedência da árvore e da semente que a originou, a idade, o local e a altitude (Ladrach, 1986), bem como a proporção de lenhos inicial e tardio, a presença ou não de madeira de reação, se é madeira juvenil ou adulta etc (Kellison, 1981). Mais importante é, portanto, compreender as tendências destas variações.



Experimentos conduzidos por Curto et al. (2016) exemplificam esta situação para o caso da massa específica básica, que é uma das principais características adotadas pelo setor florestal para inferir a qualidade da madeira. Em um plantio de *A. angustifolia*, com 65 anos, localizado na Floresta Nacional (Flona) de Assungui, no município de Campo Largo, PR, com relatos de intervenção de desbaste apenas realizado entre as idades de 24 e 34 anos, verificou-se uma grande amplitude diamétrica, entre 10 cm e 70 cm, devido à falta de manejo da área. No entanto, independente da classe diamétrica das árvores amostradas, a variação da massa específica básica ao longo do fuste foi semelhante. Considerando todas as amplitudes diamétricas observadas no povoamento, houve tendência de redução da massa específica básica na direção longitudinal, porém, a 60% da altura comercial, a massa específica média foi maior que a 40% da altura comercial (Curto et al., 2016). A diminuição da massa específica básica com o aumento da altura é tendência geral para espécies coníferas (Elliott, 1970), sendo tal comportamento observado para *Pinus elliottii* (Palermo et al., 2003), *Picea abies* (L.) Karst (Jyske et al., 2008) e para *A. angustifolia* (Mattos et al., 2011). Assim, o efeito do aumento da massa específica em determinada altura do fuste identificado por Curto et al. (2016) estaria relacionado à forte competição exercida no povoamento, bem como possível reflexo do desbaste tardio, apenas aos 24 anos de idade. Isso porque, de acordo com Larson (1963) e Kollmann e Côté Júnior (1968), com o aumento progressivo da competição, há redução no tamanho das copas e na eficiência dos ramos; de modo que a proporção de lenho tardio aumenta, aumentando a massa específica para as árvores, e resultando em mudanças na distribuição do crescimento ao longo do fuste.

Após o aumento da massa específica a 60% da altura comercial, Curto et al. (2016) identificaram a redução significativa da copa, devido ao aumento da taxa de crescimento, sugerindo ligação com a ocorrência de desbaste tardio efetuado no povoamento. De acordo com Larson (1963), após desbaste, a eficiência da copa viva aumenta, resultando em maior produção de madeira, podendo ocorrer alterações na qualidade. Deste modo, a falta de uniformidade da madeira verificada ao longo do fuste é um indicativo dos efeitos negativos da falta de manejo florestal.

Quanto à variação da massa específica na direção radial, houve aumento no sentido medula-casca, e tal comportamento se manteve à medida que se aumentou a altura da árvore. Tendência de aumento da massa específica básica na direção radial em coníferas foi verificada por Rezende et al. (1995), Nogueira e Vale (1997), Pereira e Tomaselli (2004) e Amaral et al. (1971). Embora este comportamento seja uma tendência geral, indicado para coníferas (Elliott, 1970), vários fatores podem interferir nesse padrão.

A massa específica básica de árvores de *A. angustifolia* em plantio comercial, avaliado por Rolim e Ferreira (1974), também aumentou no sentido medula-casca, sendo verificada maior variação de massa específica nos primeiros anos de plantio, ao avaliar anéis anuais. Deste modo, a redução das taxas de crescimento inicial, por meio do controle da densidade inicial da população e programações de desbaste, pode resultar em menor proporção de madeira juvenil e, conseqüentemente, no aumento da massa específica (Hans et al., 1972). Por outro lado, mantendo o povoamento sem desbaste por longo período, é possível que as árvores estejam com reservas insuficientes para desenvolver copas mais amplas após o desbaste, além de poder conter grande proporção de folhas de sombra, que são danificadas por exposição direta ao sol (Kramer; Kozlowski, 1960).

A massa específica básica média verificada na Flona de Açungui, para *A. angustifolia*, foi 0,443 g cm⁻³, valor semelhante àquele encontrado por outros autores, em diferentes condições de plantio e idades, podendo-se citar: Mattos et al. (2006), em plantio com 38 anos de idade, que observaram massa específica básica da madeira de 0,425 g cm⁻³; Melo et al. (2010), em plantio de 50 anos de idade, que encontraram valor médio de 0,435 g cm⁻³; Mattos et al. (2011) para árvores



com 19 anos, que sofreram duas intervenções de desbaste, obtiveram valores médios de $0,40 \text{ g cm}^{-3}$; e Rosa et al. (2013), avaliando árvores com idade entre 24 a 29 anos, encontraram massa específica básica média de, aproximadamente, $0,435 \text{ g cm}^{-3}$. Os resultados apontam que a massa específica básica média tende a não variar muito com a idade e com as práticas silviculturais, mas com variações ao longo do fuste, gerando irregularidades e prejudicando usos da madeira que demandem matéria-prima mais homogênea.

Em experimentos relatados por Hillig et al. (2012) com indivíduos de diversas idades provenientes da Flona de Irati, município de Irati, PR, observou-se a tendência de diminuição da soma das contrações radial e tangencial com o aumento da posição do fuste, seguindo o comportamento da massa específica aparente. Madeiras retiradas do topo do fuste teriam, portanto, maior estabilidade dimensional. Seguindo a mesma lógica, Melo et al. (2010) reportaram que maior estabilidade foi observada em amostras obtidas mais próximas da casca (madeira adulta) do que da medula (juvenil).

Beltrame et al. (2010) realizaram estudo em povoamento implantado em 1966, para investigar o efeito do estrato fitossociológico nas propriedades físico-mecânicas da madeira de *A. angustifolia*. Os autores não verificaram diferenças significativas para a flexão estática e resistência ao impacto, mas os valores de massa específica aparente e de compressão perpendicular e axial foram, geralmente, maiores, para os estratos médio e superior.

É comum comparar as propriedades desta conífera nativa do sul do Brasil com aquelas de espécies de *Pinus*, tais como *P. elliottii* e *P. taeda*, originárias dos Estados Unidos, que bem se adaptaram no sul do Brasil. Em geral, os estudos apontam superioridade da madeira da araucária. Exemplo é o trabalho de Santini et al. (2000) que avaliaram essas duas espécies de pínus com 13 anos de idade (um desbaste) e de araucária com 19 anos de idade (dois desbastes). Embora não tenha sido observada diferença significativa nos quesitos de massa específica básica e coeficiente de contração da madeira, a araucária apresentou melhor desempenho aos parâmetros de compressão axial (tensão no limite proporcional, módulo de ruptura e de elasticidade), flexão estática (módulo de elasticidade e tensão no limite proporcional) e dureza axial.

Aplicações da madeira

A araucária, ou pinheiro-brasileiro, foi durante muito tempo a espécie mais explorada na indústria madeireira do sul do Brasil e o fornecimento de sua madeira contribuiu decisivamente para o desenvolvimento econômico do País e de tantos outros, para os quais a espécie foi exportada. Lamentavelmente, a exploração predatória e consequente restrição da lei, além da falta de incentivos e planos adequados de reflorestamento e manejo florestal para a espécie, resultaram no desinteresse crescente deste produto no mercado madeireiro.

Inúmeras aplicações são reportadas para a madeira de araucária serrada, roliça ou processada, a saber: uso em construções em geral (p. ex.: ripas, partes secundárias de estruturas, cordões, guarnições, rodapés, forros, lambris, pontaletes, andaimes, fôrmas para concreto), compensados, laminados, mobiliário, fabricação de lápis e fósforos, carrocerias, carretas e carrinhos de mão, mourões para cerca, porteiras e cancelas, postes, utensílios domésticos (p. ex.: rolos de massa, tábuas de carne, cabos de vassoura, escovas), objetos de decoração e escolares, cabos de ferramentas, brinquedos e artigos esportivos, construção de pontes e pontilhões, tanoaria, caixaria para acondicionamento de frutas, máquinas, instrumentos musicais (p. ex.: violões, cavaquinhos, pianos) e até mesmo embarcações, dentre outros (Mattos, 1972; Mainieri; Chimelo, 1989; Carvalho, 2003; Ferreira, 2003). Tal foi a sua relevância para a construção civil que a espécie



consta em manuais técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e parceiros (Zenid, 2009), como material de referência à seleção de madeiras alternativas para os itens de: construção civil leve interna estrutural, construção civil leve interna de utilidade geral e uso temporário (Tabela 1). Juntamente com a peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*), a madeira de araucária foi usada como matéria-prima durante várias décadas pelo setor de construção civil, sendo os principais fornecedores as madeiras das regiões Sul e Sudeste (Zenid, 2009).

Como vantagens para tais aplicações da madeira, podem ser citadas: as ideais características físicas e mecânicas, o fuste reto e quase cilíndrico da espécie e o maior rendimento no desdobro mecânico, comparativamente às espécies de pínus (BRDE, 2005). Hillig et al. (2006) avaliaram a geração de resíduos em indústrias madeireiras do Rio Grande do Sul e verificaram que o aproveitamento médio de madeiras de araucária no desdobro e beneficiamento (73%) foi superior ao de pínus e eucalipto (63% e 64%). Isto foi atribuído, sobretudo, ao fato de o pinheiro nativo ter, em geral, maior idade e diâmetro no momento de corte e processamento (Hillig et al., 2006), já que atinge melhor desenvolvimento por volta dos 30 anos (BRDE, 2005). Ressalta-se que os resíduos gerados nas operações de processamento da madeira, incluindo os da araucária, podem ser adequadamente reutilizados, visando à agregação de valor. Podem ser destinados para a geração de energia térmica ou elétrica (na forma de lenha, briquete, carvão, licor pirolenhoso, alcatrão, gás etc.) ou para outras formas de valorização como a composição de cama de aviário, adubação, fabricação de materiais compósitos, dentre outras. Dias et al. (2017) avaliaram a qualidade de madeira e toras de araucária de um plantio com 39 anos de idade, visando à aplicação na produção de painéis laminados. Apresentou alta estabilidade dimensional e médio grau de colapso da madeira, o que a torna adequada para a composição de painéis laminados.

Em contraposição, há também desvantagens relativas à madeira de araucária tais como: alta susceptibilidade natural ao ataque de cupins e ao apodrecimento da madeira, além de tendência a apresentar rachaduras e torções durante secagem ao ar. A adoção de tratamentos preservativos e processos controlados de secagem da madeira em estufa podem ser algumas soluções para os respectivos problemas (Carvalho, 2003). Entretanto, o maior entrave atual é o fato de a espécie estar ameaçada de extinção e sua exploração estar sob a égide de uma rigorosa legislação, o que restringe enormemente sua comercialização nos mercados interno e externo. Enquanto o corte de árvores nativas está proibido, as plantações da espécie podem ser exploradas, desde que autorizadas pelo órgão ambiental competente do Estado da Federação em que o plantio for estabelecido, tal como a nova Lei Estadual nº 20.223/2020 (Paraná, 2020) que estabelece regras de plantio, cultivo e exploração comercial da espécie no Paraná. Para evitar eventuais infrações ambientais, os consumidores cada vez mais têm preferido madeiras de espécies de pínus em detrimento da araucária, mesmo havendo superioridade de características técnicas desta em relação àquela, em alguns aspectos. Embora restrito, ainda existe mercado para a madeira proveniente da araucária e podem ser encontradas, sobretudo, no estado do Paraná, algumas serrarias e laminadoras que ainda processam as toras desta espécie. Segundo o BRDE (2005), a maior parte desta matéria-prima encontrava-se sob o domínio de algumas poucas fábricas de papel e celulose, sendo esta mais uma de suas aplicações.

No passado, a araucária era a única conífera nativa de importância comercial no Brasil e a principal fonte de fibras longas da indústria de papel e celulose. Dentre as características que a tornam apta para esta aplicação, podem-se citar: rendimento em celulose e composição química adequados (teor de holocelulose de 68,4% e de lignina de 27,8 % (Mattos et al., 2006)) e traqueídeos longos, próximos de 6 mm (Mattos et al., 2006), que conferem maior resistência e qualidade ao papel produzido (Inoue et al., 1984; Mainieri; Chimelo, 1989). Além disso, a cor clara implica em menor



necessidade de branqueamento químico durante o processamento e, conseqüentemente, menor impacto ambiental decorrente (Guerra et al., 2002).

Diversos tipos de processos foram utilizados para produzir celulose de araucária no Brasil, como os de pasta mecânica, celulose sulfito e, posteriormente, celulose kraft. Atualmente, esta última é a tecnologia mais empregada no País e, embora sejam outras as matérias-primas majoritárias, a celulose resultante apresenta alta resistência, sendo indicada para a produção de sacos de cimento e outros, papel de embrulho etc. (Mattos, 1972). Foelkel (1973) estudou as características da madeira e da polpa obtida por processo kraft de quatro espécies utilizadas no Brasil: *A. angustifolia* (árvores nativas com cerca de 15 a 20 anos de idade), *Pinus elliottii*, *P. taeda* e *P. caribaea* (com idades de 8, 11 e 8 anos, respectivamente). As três espécies de pinus eram madeiras de desbaste com alta porcentagem de madeira juvenil. A espécie nativa apresentou fibras mais longas e com parede mais espessa, com maior densidade específica e teor de celulose, além de menor conteúdo de lignina. Já as polpas resultantes mostraram-se resistentes ao rasgo, porém com menor resistência ao estouro e à tração que as madeiras jovens de pinus. Para obter a mesma densidade da folha de papel, foram necessários maiores tempos de refino para *A. angustifolia* e *P. caribaea*. Embora se tenha demonstrado que as polpas kraft das espécies exóticas apresentavam propriedades de resistência adequadas, o autor reportou que os rendimentos em polpa eram mais baixos do que os obtidos com araucária.

Diante da escassez da matéria-prima nativa, o setor de papel e celulose adaptou seus processos para o uso das fibras longas de pinus e curtas de eucalipto. Entretanto, Guerra et al. (2002) reportaram que algumas fábricas ainda utilizavam a madeira de araucária proveniente de desbastes nas áreas de reflorestamento, com o objetivo de compor um mix destinado à produção de papéis mais resistentes, como o papel Kraft e o de imprensa (Guerra et al., 2002).

Por fim, a madeira de araucária foi também explorada durante muito tempo para a aplicação energética, na forma de lenha, carvão etc. (Mattos, 1972). Entretanto, para esta finalidade o nó de pinho é preferido em relação à madeira.

Características e aplicações dos coprodutos da araucária

Características dos coprodutos e aplicações gerais

Além da madeira e do pinhão, *A. angustifolia* pode fornecer outros coprodutos, tais como: nó de pinho, galhos, cascas da árvore e resina, além de cascas de pinhão, falhas de pinhão (escamas estéreis) e grimpas contendo as folhas chamadas acículas. Na Tabela 3 encontram-se as características de alguns destes materiais.

Tabela 3. Características de coprodutos da araucária: cascas de pinhão, falhas (escamas estéreis) e grimpas.

Amostra	Cinzas (%)	Extrativos em água (%)	Extrativos em etanol:tolueno (%)	Extrativos totais (%)	Lignina Klason (%)	Lignina solúvel (%)
Casca de pinhão ⁽¹⁾	1,3	17,1	2,07	-	33,1	0,90
Falha ⁽¹⁾	3,6	22,9	0,90	-	34,3	1,07
Falha ⁽²⁾	2,4	-	-	7,55	41,9	-
Grimpa ⁽²⁾	7,9	-	-	19,95	42,2	-
Grimpa ⁽³⁾	5,1	11,0	12,57	24,95	47,4	-

⁽¹⁾Lima et al. (2020); ⁽²⁾Jacinto (2017); ⁽³⁾Rios et al. (2015). Ressalta-se que pode haver diferenças nas metodologias empregadas para análise, prejudicando a comparação direta de resultados.

Os nós originam-se da inversão dos galhos da araucária, sendo o material que permanece engastado no tronco envolvido por camadas lenhosas. Possuem formato aproximadamente cônico e comprimento médio de 30 cm, embora haja registros de peças maiores com até 1,20 m (Tortato, 1998; Carvalho, 2003). Antigamente, eram largamente utilizados como substituintes do carvão mineral em embarcações, locomotivas e indústrias, dentre outros. Testes comparando o poder calorífico da madeira com o do nó do pinheiro resultaram em valores de 19.928 kJ kg⁻¹ e 23.674 kJ kg⁻¹, respectivamente (Mattos, 1972). Além de alto poder calorífico, apresenta elevada massa específica, alto teor de resina e grande resistência ao apodrecimento. Também tem sido empregado para a confecção de objetos de decoração e artesanato (Inoue et al., 1984; Carvalho, 2003). Além dos nós, reporta-se que a casca de indivíduos adultos também tem bom poder calorífico e pode ser utilizada para geração de energia. A casca de árvores adultas é normalmente espessa e tem aspecto esponjoso e pode conter resina e taninos.

Cada árvore gera grande quantidade de ramos contendo acículas (comumente chamados de ramos secundários ou grimpas), que caem ao solo e possuem alta combustibilidade e inflamabilidade (Braine et al., 2011; Beutling, 2013). Por este motivo, um dos principais usos estudados para este material tem sido como combustível.

Lima et al. (2016 - dados não publicados²) avaliaram a produção de briquetes de grimpas de araucária (Figura 3A). A principal motivação da pesquisa era fornecer uma opção de aproveitamento deste resíduo para reduzir seu acúmulo em áreas de pastejo e, conseqüentemente, a incidência de danos

Fotos: Tiéldy Angelina de Moraes de Lima

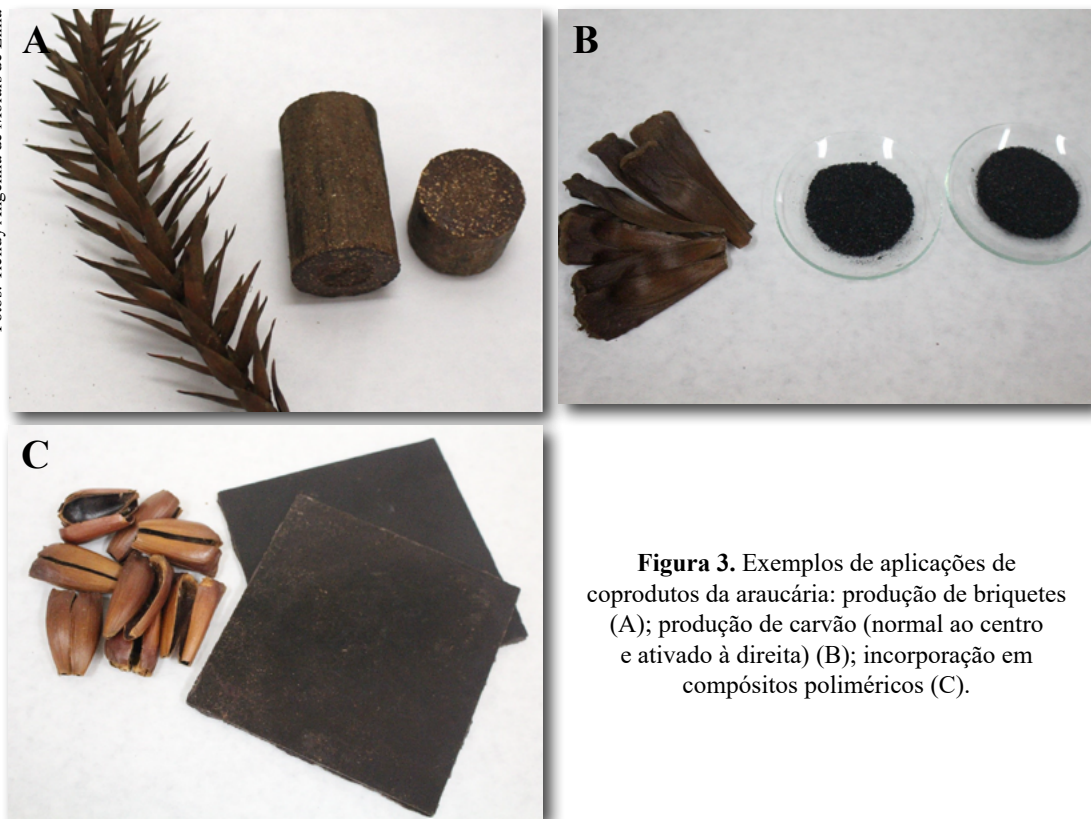


Figura 3. Exemplos de aplicações de coprodutos da araucária: produção de briquetes (A); produção de carvão (normal ao centro e ativado à direita) (B); incorporação em compósitos poliméricos (C).

² Lima, E. A. de; Magalhães, W. L. E. Tabela 1 - Características físico-energéticas de briquetes produzidos a partir da grimpas da araucária. 2016. Dados não publicados.



ao gado. Estudos indicam que lesões externas e respiratórias em bovinos podem estar relacionadas à aspiração de acículas, devido a seu formato lanceolado e pontiagudo (Evangelista et al., 2014). Na Tabela 4 estão apresentadas algumas características físico-energéticas de briquetes de grimpas, comparativamente aos briquetes de serragem de pinus. Uma das vantagens da grimpas é a baixa umidade, já que está normalmente seca quando cai (cerca de 15% de umidade). O poder calorífico dos briquetes produzidos a partir da grimpas foi cerca de 3% inferior ao briquete produzido com serragem de pinus, possivelmente devido ao maior teor de cinzas. As cinzas resultantes da queima do briquete podem ser utilizadas como adubo, para aproveitamento dos compostos inorgânicos da grimpas, cerca de 20 vezes mais abundantes que aqueles da madeira.

Tabela 4. Características físico-energéticas de briquetes produzidos a partir da grimpas da araucária, da falha do pinhão e da serragem de pinus.

Amostra	Densidade (g cm ⁻³)	Friabilidade (%)	PCS (kcal kg ⁻¹)	Análise química imediata (%)		
				TV	TC	TCF
Briquete de serragem de pinus ⁽¹⁾	1,00	18,0	4.860	81,16	0,23	18,61
Briquete de grimpas de araucária ⁽²⁾	1,47	1,83	4.710	88,15	5,60	6,25
Briquete de falha de pinhão ⁽³⁾	1,13	-	4.508	72,32	2,89	24,79

PCS = poder calorífico superior; TV = teor de voláteis; TC = teor de cinzas; TCF = teor de carbono fixo. ⁽¹⁾Silva et al. (2015); ⁽²⁾Lima et al. (dados não publicados); ⁽³⁾Jacinto et al. (2016).

A opção de briquetagem foi também estudada para as falhas, que são escamas estéreis ou não fertilizadas presentes no estróbilo feminino da araucária, juntamente com os pinhões (Jacinto et al., 2016). Algumas características dos briquetes produzidos a partir das falhas também estão compiladas na Tabela 4. Embora as falhas tenham apresentado menor conteúdo energético e maior quantidade de material residual após a queima, em comparação com a madeira, a queima ocorreria mais lentamente. Outras vantagens apontadas pelos autores seriam: maior teor de lignina e de extrativos, que acarretaria melhor capacidade ligante e dispensabilidade de moagem das falhas para a produção dos briquetes. Por outro lado, a elevada umidade das falhas in natura (61%) é um ponto negativo, já que esta inviabiliza o seu uso energético sem um tratamento prévio.

Ainda na linha da densificação, a grimpas e as falhas do pinhão foram avaliadas para a elaboração de pellets, em presença ou não de maravalhas de pinus, sendo os produtos classificados quanto aos parâmetros de qualidade estabelecidos na norma ISO 17225-2, para pellets de biomassa destinados à geração de energia (Jacinto et al., 2017). Além da alta umidade das falhas, um dos problemas encontrados foi justamente o alto teor de cinzas e, sobretudo, das grimpas, o que limita o uso dos resíduos separadamente. Para uso industrial somente o pellet feito com 100% de grimpas não se enquadraram em nenhuma das categorias de qualidade. Para o uso residencial/comercial, quatro composições atenderam às especificações: uma das misturas de falhas e pinus (75% falhas e 25% pinus) e três misturas de grimpas e pinus (nas proporções de 75/25; 50/50 e 25/75), sendo este último o melhor tratamento.

Outra possível aplicação energética é a carbonização, a qual tem sido estudada para diversos resíduos da araucária, tais como grimpas (Gabardo et al., 2011), cascas de pinhão (Gotti et al., 2013) e falhas de pinhão (Figura 3B). Para a grimpas, obteve-se rendimento mássico de 40% em carvão, sendo este com cerca de 9% de cinzas e 6.685 kcal kg⁻¹ de poder calorífico (Gabardo et al., 2011) (Tabela 5). Para as cascas, obteve-se rendimento mássico de 46% em carvão, sendo este com cerca de 8% de cinzas e 6.769 kcal kg⁻¹ de poder calorífico (Gotti et al., 2013). Novamente, o



alto teor de cinzas destes resíduos apresentou efeito negativo para esta aplicação, uma vez que um carvão de boa qualidade para energia deve apresentar baixo teor de cinzas (abaixo de 3%); a fim de contornar a situação, foi sugerida a mistura com resíduos de madeira - como serragem de eucalipto (Gotti et al., 2013).

Tabela 5. Características físico-energéticas de materiais in natura (eucalipto, casca de pinhão e grimpa) e após conversão em carvão.

Biomassa	In natura	Carvão		
	PCS (kcal kg ⁻¹)	Rendimento (%)	PCS (kcal kg ⁻¹)	Teor de cinzas (%)
Eucalipto ⁽¹⁾	4.296	29	7.717	1,22
Casca de Pinhão ⁽¹⁾	4.409	46	6.769	7,91
Grimpa ⁽²⁾	4.681	40	6.685	9,10

PCS = poder calorífico superior. ¹Gotti et al. (2013); ²Gabardo et al. (2011).

Há uma série de estudos referentes ao uso de “resíduos” de araucária para bio sorventes de baixo custo, para a remoção de contaminantes como metais e corantes, com ampla aplicação no tratamento de efluentes de curtumes e indústrias metalúrgicas ou têxteis, por exemplo. Brasil et al. (2006) demonstraram a retirada de cromo (VI) de soluções aquosas utilizando um bio sorvente preparado a partir de cascas de pinhão, as quais representam cerca de 22% da semente. O material apresentou capacidade de adsorção comparável àquela do carvão ativado e àquela da quitosana modificada, sendo provavelmente associada à presença de polifenóis nas cascas. Mais tarde, foi apresentada a possibilidade de reutilizar o bio sorvente já carregado com cromo para, posteriormente, remover corante Vermelho Reativo 194, na forma hidrolisada (HRR) e não hidrolisada (NRR). A capacidade de bio sorção foi potencializada mediante tratamento químico com ácido realizado antes da adsorção do cromo (Lima et al., 2008). Foi comprovada também a remoção de cobre (II), a qual foi aumentada quando havia adsorção prévia de corante vermelho do Congo (Lima et al., 2007). Isto permitiria que o material fosse usado para a remoção de corantes e, posteriormente, ao invés de ser disposto diretamente em aterro, pudesse ser reaproveitado para a remoção de cobre (II). Royer et al. (2009) apresentaram o tratamento de soluções aquosas contendo azul de metileno por meio do bio sorvente na forma natural e na forma carbonizada (não ativada), obtida por tratamento químico com ácido sulfúrico. Este último tratamento promoveu aumento de área superficial específica, volume de poros e diâmetro de poros médios. Este mesmo material carbonizado, com ou sem processo adicional de ativação com CO₂, foi eficientemente usado para a retenção dos corantes Procion Red MX 3B (Calvete et al., 2009) e reativo laranja 16 (RO-16) (Calvete et al., 2010), sendo que a ativação promoveu a melhoria na capacidade adsorptiva. Além das cascas do pinhão, as falhas também se mostraram eficientes para a remoção de cromo e ferro de soluções sintéticas e de efluentes reais de galvanoplastia, com desempenho até superior ao das cascas, segundo os autores (Santos et al., 2011). As vantagens de seu uso incluiriam o fato de ser um material abundante em regiões específicas, de baixo custo, que poderia ser utilizado sem necessidade de tratamento prévio, promovendo uma rápida e eficiente bio redução do Cr(VI) à forma menos tóxica Cr(III).

Os coprodutos da araucária podem ser empregados ainda para o desenvolvimento de novos materiais, tais como compósitos contendo polímeros e fibras. Em pedido de patente depositado em 2005 (Moreira; Bosquet, 2005) propôs-se a produção de um compósito a base de sapé, ou seja, galhos secos de pinheiros ou araucária, e resina do tipo madeireira. O processo consistia basicamente na trituração dos galhos ou ramos secos, peneiramento, mistura mecânica com a



resina (líquida ou em pó) e prensagem em fôrmas. Reportou-se a possibilidade de se obter os mais diversos tipos de artefatos da indústria madeireira com vantagens tais como: baixo custo, elevada resistência e durabilidade do produto, aproveitamento de um resíduo e diminuição das pressões sobre a madeira nativa, dentre outras (Moreira; Bosquet, 2005). A Produção de Madeira de Grimpa do Pinheiro (PMGP), como foi denominada, envolveria cerca de 50% menos energia, já que a grimpa possui baixa umidade, além de 2% a menos de resina em comparação com processos de aglomerado e MDF. Rios et al. (2015) também avaliaram a grimpa triturada como matéria-prima lignocelulósica, para a fabricação de painéis aglomerados, em misturas variadas com *Eucalyptus grandis* (Maiden) Hill (nas proporções de 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100). Chapas de densidade $0,70 \text{ g cm}^{-3}$ foram produzidas com 12% de resina ureia-formaldeído e 1% de parafina. Quanto às propriedades físicas (densidade, absorção de água e inchamento em espessura), os painéis apresentaram resultados satisfatórios (incluindo a grimpa 100%), enquanto que, para as propriedades mecânicas (MOE, MOR e ligação interna), a mistura de 25% de galhos e 75% de eucalipto e os painéis com 100% de eucalipto atenderam às especificações de comercialização. Em relação à composição química dos galhos para esta aplicação, o alto teor de extrativos poderia prejudicar a produção dos painéis, por exemplo, interferindo na cura da resina, enfraquecendo as ligações entre partículas ou ainda causando manchas em alguns processos de acabamento. Por outro lado, o elevado teor de lignina teria efeito positivo, melhorando a adesão entre as partículas do painel.

Resíduos agroflorestais diversos, tais como as cascas de pinhão, podem ser utilizados para a manufatura de compósitos termoplásticos ou termofixos (Figura 3C), sendo que estes últimos normalmente permitem a incorporação de maior quantidade de carga lignocelulósica. Mattos et al. (2018) mostraram a possibilidade de elaboração de compósitos não estruturais, utilizando cascas de pinhão moídas e resinas termofixas ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Adicionalmente, foram usados sulfato de amônio, como catalisador, e emulsão de parafina para aumentar a repelência à água. O processo permitiu a incorporação de altas quantidades de resíduo (70% e 80% em massa), com boa homogeneidade e afinidade química entre a carga lignocelulósica e a matriz de resina. Para ambas as resinas, a maior proporção de resina (30%) proporcionou melhores propriedades mecânicas e de repelência à água, sendo que os compósitos de ureia-formaldeído apresentaram maior molhabilidade e absorção de água e, conseqüentemente, maior inchamento em espessura.

Na Tabela 6 consta a comparação entre propriedades físicas e mecânicas de compósitos produzidos pela incorporação de casca de pinhão, em resinas termoplásticas (polipropileno - PP) e termofixas (ureia-formaldeído e fenol-formaldeído), conforme estudo de Mattos et al. (2016). Em resumo, pode-se dizer que a resina PP resulta em compósitos com maiores resistências à absorção de água, ao inchamento e à flexão estática. Todavia, o máximo de casca de pinhão que pode ser incorporado em polipropileno (próximo a 50% em peso) é bem inferior comparativamente às resinas termofixas como a ureia-formaldeído e fenol-formaldeído (até mais que 80% em peso).

Além de apresentar vantagens como simplicidade, baixo custo e obtenção de um material de baixa densidade e abrasão, o processo permite o aproveitamento de resíduos do beneficiamento do pinhão. Isto é fundamental na medida em que cresce a demanda por produtos industrializados deste alimento, com potencial de gerar entre 26-29% de resíduos, sobretudo cascas. Uma possibilidade seria a elaboração de materiais compósitos termoplásticos com a incorporação de casca de pinhão em polipropileno visando à fabricação de peças de artesanato e de *design* com maior valor agregado, de forma a propiciar fonte alternativa de renda para pequenas comunidades no entorno da agroindústria (Embrapa Florestas, 2016).

Tabela 6. Propriedades físicas e mecânicas dos compósitos de casca de pinhão.

Amostra	% AA ⁽¹⁾ (48h)	% IE ⁽²⁾ (48h)	Densidade (g cm ⁻³)	Resistência à flexão (MPa)	MOE ⁽³⁾ (MPa)
PP60/CP40	0,66 ± 0,07	1,93 ± 0,20	0,94 ± 0,04	27,60 ± 2,31	2.279 ± 270
PP50/CP50	1,12 ± 0,16	2,19 ± 0,49	0,88 ± 0,03	22,70 ± 5,34	2.112 ± 608
UF20/CP80	53,60 ± 5,21	22,80 ± 0,31	0,58 ± 0,02	12,80 ± 2,90	1.259 ± 321
UF30/CP70	39,20 ± 9,70	16,00 ± 3,30	0,64 ± 0,01	14,70 ± 5,30	1.527 ± 217
FF20/CP80	53,20 ± 10,21	14,70 ± 1,51	0,66 ± 0,01	9,90 ± 3,00	1.314 ± 221
FF30/CP70	45,40 ± 2,82	9,30 ± 1,11	0,72 ± 0,01	18,80 ± 8,70	1.672 ± 666

PP = polipropileno; UF = ureia-formaldeído; FF = fenol-formaldeído; CP = casca de pinhão; os números são equivalentes à proporção percentual em massa de cada componente. ⁽¹⁾Porcentagem em peso de absorção de água após 48 h de imersão; ⁽²⁾porcentagem de inchamento na espessura das amostras após imersão em água por 48 h; ⁽³⁾módulo de elasticidade medido nos ensaios de flexão estática.

Fonte: adaptada de Mattos et al. (2016).

Por fim, há alguns poucos estudos onde o maior interesse é o aproveitamento da fração celulósica/hemicelulósica. A casca de pinhão foi um dos resíduos avaliados por Nunes et al. (2013), para a produção de açúcares que poderiam ser convertidos posteriormente a químicos como o etanol. No estudo foi testado um processo envolvendo pré-tratamento alcalino, seguido de hidrólise enzimática. O resíduo do pinhão apresentou a maior perda de massa no pré-tratamento, já que apresenta grande quantidade de lignina, o que comprometeu o rendimento em açúcares. A casca foi, ainda, estudada para a produção de nanofibrilas de celulose visando ao futuro desenvolvimento de alimentos funcionais (Lima et al., 2020). Para tanto, o material foi submetido (ou não) ao processo prévio de branqueamento, seguido de desfibrilação mecânica em moinho coloidal, para a obtenção das suspensões de nanocelulose. Foram realizadas avaliações *in vivo* em ratos, com o objetivo de avaliar seu efeito no metabolismo e verificar possível toxicidade. Nas concentrações testadas não se observou efeitos tóxicos que pudessem estar associados às nanofibrilas. Adicionalmente, foi constatado efeito reducional no percentual de ganho de massa corporal, índice glicêmico, no colesterol LDL e na taxa de triglicérides dos ratos alimentados com a adição dessa suspensão de nanocelulose em ração padrão.

Para efeito de organização e clareza, as aplicações relacionadas à fitoquímica dos coprodutos serão tratadas individualmente no item seguinte.

Fitoquímica

As espécies florestais são conhecidas pela produção de inúmeros compostos com atividades biológicas (Siqueira et al., 2016; Tabach et al., 2017; Silveira et al., 2018). A busca de novas fontes de moléculas bioativas ou compostos químicos provenientes dos recursos florestais nativos tem sido fonte de diversas discussões visando proteger o patrimônio genético.

Compostos químicos diversificados são produzidos nas diferentes estruturas da árvore de *A. angustifolia* (Peralta et al., 2016). Existem estudos relatando as características fitoquímicas de materiais extraídos das acículas da plântula (parte aérea, radícula e calo), da resina, do cerne, do alburno, do nó, da casca e da periderme (casca externa). As estruturas químicas de alguns compostos identificados nos coprodutos de araucária estão mostradas na Figura 4.

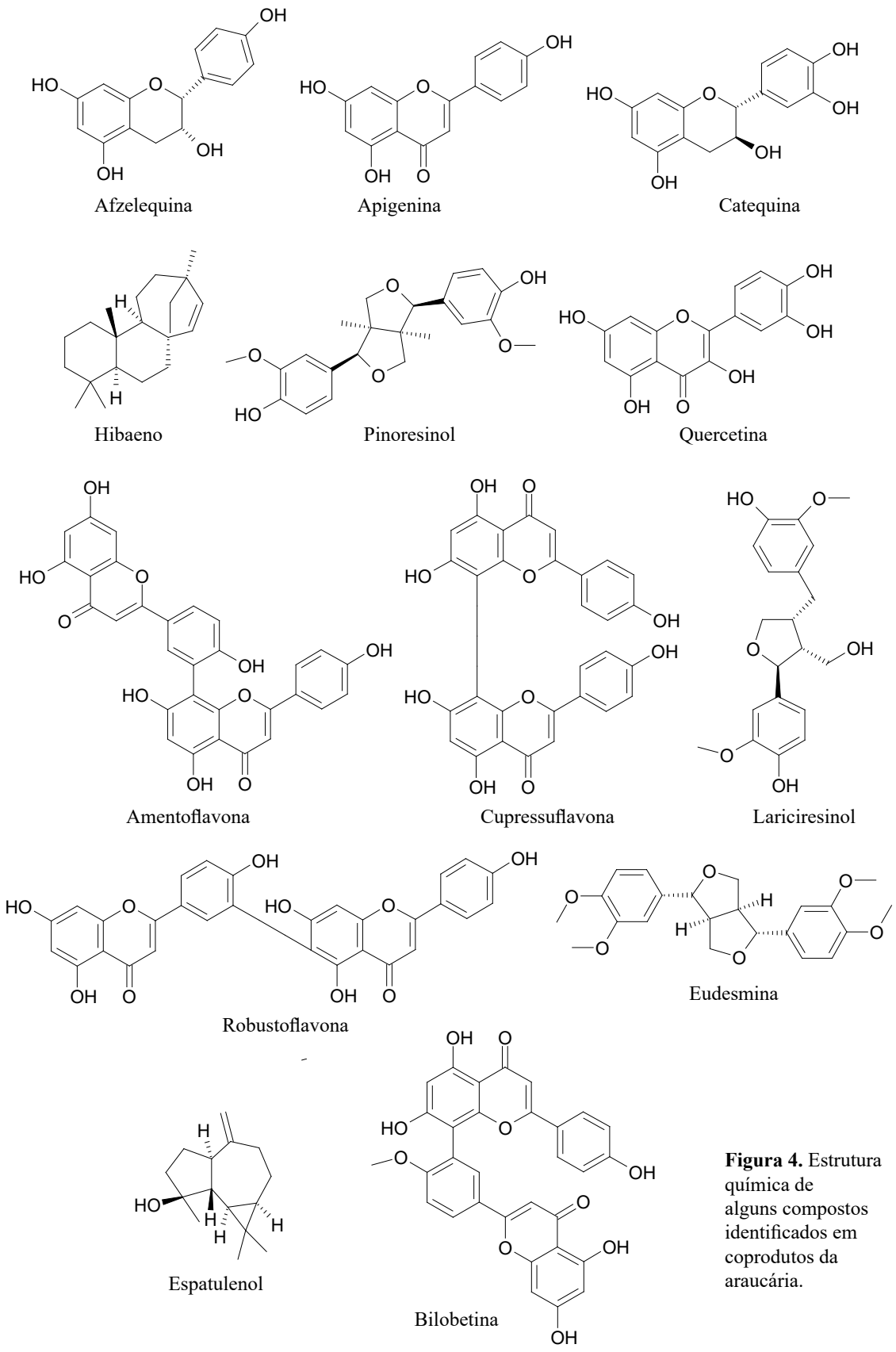


Figura 4. Estrutura química de alguns compostos identificados em coprodutos da araucária.



As acículas de *A. angustifolia* são usadas, tradicionalmente, na forma de chá para combater a anemia e alguns tipos de tumores (Franco; Fontana, 1997; Carvalho, 2003). Estudos utilizando o extrato hidroalcoólico das acículas identificaram a presença de polifenóis, flavonoides e taninos (Andrighetti-Fröhner et al., 2005). Dentre os flavonoides destacam-se a quercetina e a apigenina e, dentre os taninos, a catequina e a epicatequina (Souza et al., 2014). Além disso, já foi identificada a presença de proantocianidinas e biflavonoides tais como a bilobetina, robustoflavona e cupressuflavona. Atividade anti-herpética foi relatada para o extrato hidroalcoólico das acículas e frações do mesmo, a qual foi relacionada às proantocianidinas (Freitas et al., 2009).

Dentre as biflavonas identificadas nas acículas, são citadas as derivadas da amentoflavona, incluindo a ginkgetina. Uma fração rica nestes compostos, obtida a partir do extrato metanólico, apresentou eficiência em proteger o DNA contra danos oxidativos e lipossomas contra danos peroxidativos causados por radiação Ultravioleta (Yamaguchi et al., 2005). Estudos posteriores concluíram que estes biflavonoides apresentaram atividade preventiva contra a radiação UV-B mais eficiente que oito dos componentes mais utilizados para este fim, em cosméticos. Apesar de não se apresentarem efetivos contra a radiação UV-A, ainda assim, sua aplicação em filtros solares é promissora (Yamaguchi et al., 2009). O extrato aquoso das acículas apresentou efeito protetor contra danos oxidativos de lipídeos, proteínas e DNA em células humanas (fibroblastos pulmonares). Este extrato, ainda, apresenta alto potencial antioxidante, devido ao seu conteúdo de polifenóis (Souza et al., 2014).

Por outro lado, o óleo essencial das acículas de *A. angustifolia* tem, como principais constituintes, hibaeno (30%) e filocladeno (20%), ambos diterpenos. Os demais compostos do óleo são sesquiterpenos e monoterpênicos. Dentre os sesquiterpenos destacam-se, devido ao seu teor, o germacreno D (8,6%), o biciclogermacreno (3,4%), o α -cadinol (1,4%) e o espatulenol (2,2%) (Brophy et al., 2000).

A análise fitoquímica da radícula da plântula de *A. angustifolia* identificou a presença do ácido trans-comunico, diterpeno derivado da rota do mevalonato. Enquanto a parte aérea das plântulas apresentaram compostos derivados da amentoflavona, assim como já observado nas acículas. Por outro lado, o calo da plântula (massa de células não diferenciadas) apresentou compostos fenilpropanóides derivados do ácido chiquímico, como isômeros de octadecil-p-cumarato e octadecil-ferulato (Fonseca et al., 2000).

A resina de *A. angustifolia* pode ser utilizada na produção de alguns tipos de tintas, vernizes, laminados plásticos e, ainda, pode ser substituto parcial de resinas fenólicas. A resina e os extrativos do nó compõem-se de açúcares redutores, ácidos graxos, esteroides livres, ésteres, pinoresinol e seus derivados, hinokiresinol, isolariciresinol, secoisolariciresinol e seus derivados, lariciresinol e ciclogalgravina (Anderegg; Rowe, 1974; Fonseca et al., 1978, 1979). Além disso, quando destilada, a resina contém compostos de diversas aplicações industriais, tais como terebintina, breu, óleos e vernizes (Carvalho, 2003).

Do mesmo modo, o extrato etanólico dos troncos da planta ainda apresentou os seguintes constituintes: isoflavanoides como cabrevina e irisolidona; lignanas como eudesmina e benzaldeídos como p-hidroxibenzaldeído, vanilina, coniferaldeído (Fonseca et al., 2000). Em extratos metanólicos fracionados do cerne, nó, alburno e resina do nó da madeira ainda foram observados compostos como a norlignana 2,3-bis-(p-hidroxifenil)-2-ciclopenteno-1-ona, criptoresinol, dihidroxichalcona, além de secoisolariciresinol, isolariciresinol, pinoresinol monometil éter e hinokiresinol. Com exceção dos dois primeiros compostos, que não estão presentes no alburno, os demais foram observados em todos os produtos extrativos (Ohashi et al., 1992).



Estudo posterior com extrato hidroalcoólico e fração acetato de etila da periderme da casca (casca externa) apresentou compostos como quercetina, ácido benzoico, ácido p-hidroxibenzoico, ácido protocatecuico e derivados da afzelequina. Neste mesmo estudo, obteve-se forte atividade antioxidante destes compostos (Seccon et al., 2010). Além disso, a casca resulta em bebida medicinal ao ser fermentada ou utilizada na forma de infusão. Segundo informações de uso popular, esta infusão é usada para tratar reumatismo, varizes, algumas afecções de pele e distensões musculares (Carvalho, 2003). Não obstante, o nó, os brotos e a casca são utilizados por populações indígenas, para tratar doenças sexualmente transmissíveis, feridas e problemas oculares, dentre outras doenças (Marquesini, 1995; Carvalho, 2003).

Considerações finais

Neste capítulo apresentou-se a árvore de *A. angustifolia* como fornecedora de múltiplos produtos, pois o uso sustentável é ferramenta imprescindível para a conservação.

A madeira da araucária tem, em vários aspectos, propriedades superiores àquelas oriundas de pínus e pode ser utilizada para as mais diversas aplicações, como na construção civil e no setor mobiliário. Seu valor de mercado é, na maioria das vezes, maior que o de sua concorrente exótica, para a mesma classe diamétrica. Mesmo assim, o interesse por plantar o pinheiro-do-paraná reduziu-se drasticamente devido ao rigor e às incertezas da legislação que foi originalmente criada para garantir a preservação da espécie. A exploração da madeira é atualmente permitida apenas em plantios florestais, porém não se tem, hoje, garantia de corte no futuro. Urge que as leis sejam modernizadas para atrair novamente os produtores para esta atividade. Espera-se, por exemplo, que cumpra esta finalidade a Lei 20.223/2020 (Paraná), que estabelece normas de incentivo ao plantio de *A. angustifolia* e garantias para o produtor de que as árvores plantadas realmente poderão ser exploradas direta (madeira) e indiretamente.

À medida em que decresceu o interesse pela madeira, aumentou a importância do produto não madeireiro “pinhão”, cuja coleta pode ser feita tanto em plantios como em matas nativas. Esta prática não destrutiva pode ser uma alternativa potencialmente econômica, por exemplo, para pequenos produtores rurais, e um estímulo para a conservação da espécie. Os pinhões são alimentos funcionais e sem glúten que podem ser consumidos localmente ou comercializados, seja in natura ou na forma de novos produtos agroindustriais. Propõe-se que o processo em uma agroindústria utilize inclusive os “resíduos”, tais como as cascas do pinhão. Estas poderiam ser usadas na preparação de compósitos poliméricos e posterior desenvolvimento de objetos com *design* ecológico e de maior valor agregado, sendo mais uma opção de renda para a comunidade e minimização de resíduos. As cascas das árvores e dos pinhões, assim como as falhas e acículas, podem ser submetidas a processos de extração com água e, ou outros solventes, visando à obtenção de compostos bioativos que vão desde antioxidantes até compostos com atividade antitumoral, de grande utilidade nas indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêutica.

Referências

AMARAL, A. C. B.; FERREIRA, M.; BANDEL, G. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no sentido medula-casca em árvores do sexo masculino e feminino. **IPEF**, n. 2/3, p. 119-127, 1971.



ANDEREGG, B. R. J.; ROWE, J. W. Lignans, the major component of resin from *Araucaria angustifolia* Knots. **Holzforschung**, v. 28, n. 5, p. 171-175, 1974.

ANDRIGHETTI-FRÖHNER, C. R.; SINCERO, T. C. M.; SILVA, A. C.; SAVI, L. A.; GAIDO, C. M.; BETTEGA, J. M. R.; MANCINI, M.; ALMEIDA, M. T. R.; BARBOSA, R. A.; FARIAS, M. R.; BARARDI, C. R. M.; SIMÕES, C. M. O. Antiviral evaluation of plants from Brazilian Atlantic Tropical Forest. **Fitoterapia**, v. 76, p. 374-378, 2005.

BELTRAME, R.; TELLES DE SOUZA, J.; MACHADO, W. G.; VIVIAN, M. A.; BULIGON, E. A.; PAULESKI, D. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) em três estratos fitossociológicos. **Ciência da Madeira**, v. 1, n. 2, p. 54-69, 2010.

BERNI, C. A.; BOLZA, E.; CHRISTENSEN, F.J. **South American timbers: the characteristics, properties and uses of 190 Species**. CSIRO, 1979.

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRAINE, J. W.; AGUIAR, A. C.; BREDNARZUK, M. H.; WACHOWICZ, C. M. Germinação de sementes de alface na presença de acículas de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Estudos de Biologia**, v. 32/33, n. 76/81, p. 67-72, 2011.

BRASIL, J. L.; EV, R. R.; MILCHAREK, C. D.; MARTINS, L. C.; PAVAN, F. A.; DOS SANTOS, A. A.; DIAS, S. L. P.; DUPONT, J.; NORENA, C. P. Z.; LIMA, E. C. Statistical design of experiments as a tool for optimizing the batch conditions to Cr(VI) biosorption on *Araucaria angustifolia* wastes. **Journal of Hazardous Materials**, B133, p. 143-153, 2006.

BRDE. Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul. **Cultivo da araucaria angustifolia**: análise de viabilidade econômico-financeira. Florianópolis, 2005. 53 p.

BROPHY, J. J.; GOLDSACK, R. J.; WU, M. Z.; FOOKES, C. J. R.; FORSTER, P. I. The steam volatile oil of *Wollemia nobilis* and its comparison with other members of the Araucariaceae (*Agathis* and *Araucaria*). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 28, p. 563-578, 2000.

CALVETE, T.; LIMA, E. C.; CARDOSO, N. F.; DIAS, S. L. P.; PAVAN, F. A. Application of carbon adsorbents prepared from the Brazilian pine-fruit-shell for the removal of Procion Red MX 3B from aqueous solution-Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 155, p. 627-636, 2009.

CALVETE, T.; LIMA, E. C.; CARDOSO, N. F.; VAGHETTI, J. C. P.; DIAS, S. L. P.; PAVAN, F. A. Application of carbon adsorbents prepared from Brazilian-pine fruit shell for the removal of reactive orange 16 from aqueous solution: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 1695-1706, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1.

CURTO, R. A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; NETTO, S. P.; ZACHOW, R. Density of *Araucaria angustifolia* wood from overstocked stand. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 51-59, 2016.

DIAS, A. C. C.; MARCHESAN, R.; PIERONI, G. B.; ALMEIDA, V. C.; VIEIRA, R. S.; MORAES, C. B. de. Qualidade da madeira para produção de lâminas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 333-341, 2017.

ELLIOTT, G. K. **Wood Density in Conifers**. Oxford: Commonwealth Agricultural Bureaux. 1970. 44 p. (Commonwealth Forestry Bureau. Technical communication, 8).

EMBRAPA FLORESTAS. **Produtos desenvolvidos com design a partir de compósitos de polímeros reforçados com casca de pinhão**. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. Folder.

EVANGELISTA, C. M.; OGLIARI, D.; MELCHIORETTO, E.; BIFFI, C. P.; TRAVERSO, S. D.; GAVA, A. "Grimpa" de *Araucaria angustifolia* como causa de morte por insuficiência respiratória em bovinos. In: ENCONTRO NACIONAL DE DIAGNÓSTICO VETERINÁRIO, 7., 2014, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, 2014. p. 1-2.

FERREIRA, O. P. (coord.). **Madeira**: uso sustentável na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; SindusCon/SP, 2003. 59 p.



- FOELKEL, C. E. B. **Unbleached kraft pulp properties of some of the Brazilian and U. S. pines.** 1973. 192 f. Dissertação (Mestrado) - College of Environmental; Science and Forestry, State University of New York, Syracuse.
- FONSECA, F. N.; FERREIRA, A. J. S.; SARTORELLI, P.; LOPES, N. P.; FLOH, E. I. S.; HANDRO, W.; KATO, M. J. Phenylpropanoid derivatives and biflavones at different stages of differentiation and development of *Araucaria angustifolia*. **Phytochemistry**, v. 55, p. 575-580, 2000.
- FONSECA, S. F.; CAMPELLO, J. P.; BARATA, L. E. S.; RÚVEDA, E. A. ¹³C NMR spectral analysis of lignans from *Araucaria angustifolia*. **Phytochemistry**, v. 17, p. 499-502, 1978.
- FONSECA, S. F.; NIELSEN, L. T.; RÚVEDA, E. A. Lignans of *Araucaria angustifolia* and ¹³C NMR analysis of some phenyltetralin lignans. **Phytochemistry**, v. 18, p. 1703-1708, 1979.
- FRANCO, I. J.; FONTANA, V. L. **Ervas & plantas: a medicina dos simples.** Erechim: Imprimax, 1997. 177p.
- FREITAS, A. M.; ALMEIDA, M. T. R.; ANDRIGHETTI-FRÖHNER, C. R.; CARDOZO, F. T. G. S.; BARARDI, C. R. M.; FARIAS, M. R.; SIMÕES, C. M. O. Antiviral activity-guided fractionation from *Araucaria angustifolia* leaves extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 126, p. 512-517, 2009.
- GABARDO, R. P.; POIATE, N. M.; LIMA, E. A. de; MAGALHAES, W. L. E. Aproveitamento de resíduos de origem florestal para a produção de carvão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2., 2011, Londrina. **Anais [...]**. Bauru: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2011. Publicado na Revista Eletrônica do IBEAS. p. 1-4.
- GOTTI, A.; TAVARES, L. B. B.; NETO, J. G.; MOMO, M. R.; DRAEGER, A.; SCABURRI, F.; LIMA, E. A. de. Estudo do aproveitamento de quatro resíduos agroindustriais para produção de carvão vegetal. In: MOSTRA INTEGRADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 7., 2013, Blumenau. **Anais [...]**. Blumenau: FURB, 2013.
- GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. dos; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucária angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (org.). **Sustentável mata atlântica: a exploração de seus recursos florestais.** São Paulo: SENAC, 2002.
- HANS, A. S.; BURLEY, J.; WILLIAMSON, P. Wood quality in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, Grown in Zambia. **Holzforschung**, v. 26, n. 4, p. 138-141, 1972.
- HILLIG, E.; MACHADO, G. O.; HOLK, D. L.; CORRADI, G. M. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função da posição no fuste para diferentes idades. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 257-263, 2012.
- HILLIG, E.; SCHNEIDER, V. E.; WEBER, C.; TECCHIO, R. D. Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006. p. 1-7.
- INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto Madeira do Paraná.** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1984. 260 p.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** 2. ed. São Paulo, 1989a. 418 p. (IPT Publicação, 1791).
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Informações sobre madeiras: Pinho-do-paraná.** 2021. Disponível em: http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/18-pinho.htm. Acesso em: jul. 2021.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras.** São Paulo, 1983. 241 p. (IPT Publicação, 1226).
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Sistema de informações de madeiras brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989b. 291 p. (IPT. Relatório, 27 078).
- JACINTO, R. C.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; SOUZA, D. L.; SILVA, M. V. Utilização de resíduos da cadeia produtiva do pinhão para a produção de pellets para geração de energia. **Floresta**, v. 47, p. 353-363, 2017.
- JACINTO, R. C.; BRAND, M. A.; RIOS, P. D.; DA CUNHA, A. B.; ALLEGRETTI, G. Análise da qualidade energética da falha de pinhão para a produção de briquetes. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p. 821-829, 2016.
- JANKOWSKY, I. P. (coord.) **Madeiras brasileiras.** Caxias do Sul: Spectrum, 1990. v.1.



JYSKE, T.; MÄKINEN, H.; SARANPÄÄ, P. Wood density within Norway Spruce stems. *Silva Fennica*, v. 42, n. 3, p. 439-455, 2008.

KELLISON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS 17., 1981, Kyoto. **Proceedings** [...]. Kyoto, 1981. p. 77-87.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, v. 2, 1968.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

LADRACH, W. E. Control of wood properties in plantations. In: IUFRO WORLD CONGRESS 18., 1986, Ljubljana. **Proceedings** [...]. Ljubljana, 1986. p. 369-379.

LARSON, P. R. Stem form development of forest trees. **Forest Science**. Washington: Society of American Foresters, 1963. 42 p. (Monograph, 5).

LIMA, E. C.; ROYER, B.; VAGHETTI, J. C. P.; BRASIL, J. L.; SIMON, N. M.; DOS SANTOS, A. A.; PAVAN, F. A.; DIAS, S. L. P.; BENVENUTTI, E. V.; DA SILVA, E. A. Adsorption of Cu(II) on *Araucaria angustifolia* wastes: Determination of the optimal conditions by statistic design of experiments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 140, p. 211-220, 2007.

LIMA, E. C.; ROYER, B.; VAGHETTI, J. C. P.; SIMON, N. M.; DA CUNHA, B. M.; PAVAN, F. A.; BENVENUTTI, E. V.; CATALUNA-VESES, R.; AIROLDI, C. Application of Brazilian pine-fruit shell as a biosorbent to removal of reactive red 194 textile dye from aqueous solution. Kinetics and equilibrium study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 155, n. 3, p. 536-550, 2008.

LIMA, G. G. de; MIRANDA, N. B. de; TIMM, T. G.; MATOS, M.; LIMA, T. A. M. de; MAGALHAES, W. L. E.; TAVARES, L. B. B.; HANSEL, F. A.; HELM, C. V. Characterisation and in vivo evaluation of *Araucaria angustifolia* pinhão seed coat nanosuspension as a functional food source. **Food & Function**, v. 11, p. 9820-9832, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO02256J>.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., 1989. 419 p.

MARQUESINI, N. R. **Plantas usadas como medicinais pelos índios do Paraná e Santa Catarina, Sul do Brasil: guarani, kaingang, xokleng, ava-guarani, kraô e cayuá**. 1995. 290 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

MATTOS, B. D.; LIMA, I.; MAGALHÃES, W. L. E. Compósitos poliméricos preparados com casca de pinhão. In: ENCONTRO NORDESTE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS, 3., 2016, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: ABPOL-NE, 2016. p. 77-79.

MATTOS, B. D.; QUEIROZ, L. M. R. de S. B.; KUMODE, M. M. N.; MAGALHAES, W. L. E. Thermosetting composites prepared using husk of pine nuts from *Araucaria angustifolia*. **Polymer Composites**, v. 39, n. 2, p. 476-483, 2018.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1972. 638 p.

MATTOS, P. P.; DE BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, N. C. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 160). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/307327>.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 67-73, 2010.

MIRANDA, N. B. de; TAVARES, L. B. B.; MAGALHAES, W. L. E.; HELM, C. V. Produção e caracterização de nanofibrilas de celulose de casca de pinhão e avaliação da toxicidade e de metabolismo em ratos. In: MOSTRA INTEGRADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 8., 2014, Blumenau. **Anais** [...]. Blumenau: FURB, 2014.



- MOREIRA, S. S.; BOSQUET, M. Processo de obtenção e produto final de composto a base de sapé. **Revista da Propriedade Industrial**, n. 1903, p. 69, 2005. In: ENCONTRO NORDESTE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS, 3., 2016, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: ABPOL-NE, 2016. p. 77-79.
- NOGUEIRA, M. V. P.; VALE, A. T. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de cerrado: relação com a massa específica básica média e variação radial e axial. **Revista Árvore**, v. 21, n. 4, p. 547-554, 1997.
- NUNES, H. C. A.; HELM, C. V.; SILVA, P. R.; HEINZ, K. G. H.; POZZAN, A. M.; SCHOEN, C.; ANDRADE, D.; SCHULTZ, J. Pré-tratamento e hidrólise enzimática de biomassas agroindustriais. In: MOSTRA INTEGRADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 7., 2013, Blumenau. **Anais** [...]. Blumenau: FURB, 2013.
- OHASHI, H.; KAWAI, S.; SAKURAI, Y.; YASUE, M. Norlignan from the knot resin of *Araucaria angustifolia*. **Phytochemistry**, v. 31, n. 4, p. 1371-1373, 1992.
- PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; REZENDE, M. A.; NASCIMENTO, A. M.; SEVERO, E. T. D.; ABREU, H. S. Análise da massa específica da madeira de *Pinus elliotti* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e a idade de crescimento. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 47-57, 2003.
- PARANÁ. Lei nº 20.223 de 25 de maio de 2020. Estabelece regras de estímulo, plantio e exploração da espécie *Araucaria angustifolia*, e adota demais providências. **Diário Oficial Poder Executivo Estadual Paraná**, n. 10694, p. 8, 26 maio 2020.
- PERALTA, R. M.; KOEHNLEIN, E. A.; OLIVEIRA, R. F.; CORREA, V. G.; CORREA, R. C. G.; BERTONHA, L.; BRACHT, A.; FERREIRA, I. C. F. R. Biological activities and chemical constituents of *Araucaria angustifolia*: An effort to recover a species threatened by extinction. **Trends in Food Science and Technology**, v. 54, p. 85-93, 2016.
- PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A. Influência do Desbaste na Qualidade da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Boletim Pesquisa Florestal**, n. 49, p. 61-81, 2004.
- PERTUSSATTI, A.; TAVARES, L. B. B.; MIRANDA, N. B. de; MAGALHAES, W. L. E.; HELM, C. V. Inovação tecnológica com base em nanofibrilas de celulose de casca de pinhão: produção, estudo in vivo e aplicação na área de alimentos. In: MOSTRA INTEGRADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 8., 2014, Blumenau. **Anais** [...]. Blumenau: FURB, 2014.
- REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48/49, p. 133-141, 1995.
- RIOS, P. D'A.; VIEIRA, H. C.; STUPP, A. M.; KNISS, D. D. C.; BORBA, M. H.; CUNHA, A. B. da. Avaliação física e mecânica de painéis reconstituídos compostos por partículas de galhos secos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 283-289, 2015.
- ROLIM, M. D.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função dos anéis de crescimento. **IPEF**, n. 9, p. 47-55, 1974.
- ROSA, T. S.; HILLIG, E.; VIANA, L. C. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze e sua relação com os anéis de crescimento. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2013.
- ROYER, B.; CARDOSO, N. F.; LIMA, E. C.; VAGHETTI, J. C. P.; SIMON, N. M.; CALVETE, T.; VESES, R. C. Applications of Brazilian pine-fruit shell in natural and carbonized forms as adsorbents to removal of methylene blue from aqueous solutions-Kinetic and equilibrium study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 1213-1222, 2009.
- SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.
- SANTOS, F. A. dos; RODRIGUES, M. J.; CANTELLI, M. Tratamento de efluente de galvanoplastia por meio da biossorção de cromo e ferro com escamas da pinha da *Araucaria angustifolia*. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 4, p. 499-504, 2011.
- SECCON, A.; ROSA, D. W.; FREITAS, R. A.; BIAVATTI, M. W.; CRECZYNSKI-PASA, T. B. Antioxidant activity and low cytotoxicity of extracts and isolated compounds from *Araucaria angustifolia* dead bark. **Redox Report**, v. 15, n. 6, p. 234-242, 2010.



SILVA, D. A. da.; YAMAJI, F. M.; BARROS, J. L. de.; RÓZ, A. L. da.; NAKASHIMA, G. T. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 713-722, 2015.

SILVEIRA, A. C.; KASSUIA, Y. S.; DOMAHOVSKI, R. C.; LAZZAROTTO, M. **Método de DPPH adaptado**: uma ferramenta para analisar atividade antioxidante de polpa de frutos da erva-mate de forma rápida e reprodutível. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. 11 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 421). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1101294>.

SIQUEIRA, G. L. A.; LAZZAROTTO, M.; FERNANDES, M.; SILVEIRA, A. C.; LAZZAROTTO, S. R. S.; FILHO, M. A. S. C.; 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, n. 1, p. 1-6, 2016.

SOUZA, M. O.; BRANCO, C. S.; SENE, J.; DALLAGNOL, R.; AGOSTINI, F.; MOURA, S.; SALVADOR, M. Antioxidant and Antigenotoxic Activities of the Brazilian Pine *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Antioxidants**, v. 3, p. 24-37, 2014.

TABACH, R.; DUARTE-ALMEIDA, J. M.; CARLINI, E. A. Pharmacological and Toxicological Study of *Maytenus ilicifolia* Leaf Extract . Part I – Preclinical Studies. **Phytotherapy Research**, v. 31, p. 915-920, 2017.

TORTATO, M. A. Cultivo de orquídeas em nó-de-pinho. **Boletim CAOB**, n. 34, p. 118-122, 1998.

WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária**: particularidades, propagação e manejo de plantios. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 159 p.

YAMAGUCHI, L. F.; KATO, M. J.; MASCIO, P. D. Biflavonoids from *Araucaria angustifolia* protect against DNA UV-induced damage. **Phytochemistry**, v. 70, p. 615-620, 2009.

YAMAGUCHI, L. F.; VASSÃO, D. G.; KATO, M. J.; MASCIO, P. D. Biflavonoids from Brazilian pine *Araucaria angustifolia* as potentials protective agents against DNA damage and lipoperoxidation. **Phytochemistry**, v. 66, p. 2238-2247, 2005.

ZENID, G. J. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SVMA/SP, SindusCon/SP, 2009. 99 p.

Embrapa

Florestas

Este livro, além de apresentar resultados importantes sobre as pesquisas com araucária, traz uma abordagem elucidativa em termos de botânica, aspectos evolutivos, dentre outros temas importantes para o esclarecimento da dinâmica da espécie no Brasil, contribuindo para o entendimento das populações ao longo da sua ocorrência natural.

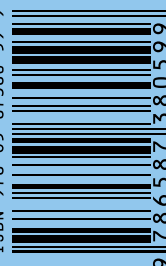
Ademais, nesta obra são tratados assuntos relevantes tais como a silvicultura (manejo, sistemas de produção, crescimento, doenças), solos, clima, genética e melhoramento, recursos madeiráveis e não madeiráveis, tópicos importantes que contribuem para o cultivo e uso adequado da espécie. Esses conhecimentos propiciam um incentivo aos pequenos, médios e grandes produtores, à adoção da araucária como viável economicamente e para todo o público interessado em obter um maior conhecimento da espécie.

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

ISBN 978-65-87380-59-9



9 786587 380599
CGPE 017120