



A Produção do Conhecimento na Engenharia Florestal

Cristina Aledi Felsemburgh
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

A produção do conhecimento na engenharia florestal

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Emely Guarez
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Cristina Aledi Felsemburgh

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P964 A produção do conhecimento na engenharia florestal /
Organizadora Cristina Aledi Felsemburgh. – Ponta
Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-500-6

DOI 10.22533/at.ed.006202610

1. Engenharia Florestal. I. Felsemburgh, Cristina Aledi
(Organizadora). II. Título.

CDD 634.928

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE ESTATÍSTICA ESPACIAL DE MÉTRICAS DA PAISAGEM UTILIZANDO O PATCH ANALYST

Luciano Cavalcante de Jesus França

Eduarda Soares Menezes

Marcelo Dutra da Silva

Danielle Piuzana Mucida

DOI 10.22533/at.ed.0062026101

CAPÍTULO 2..... 14

AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: MAPEAMENTO EM ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO

Allana Fonseca de Souza

Alyson Brendo Bezerra da Silva

Alexsandro dos Santos Reis

Letícia Milena Gomes de Carvalho

Carla Samara Campelo de Sousa

Diego Armando Silva da Silva

DOI 10.22533/at.ed.0062026102

CAPÍTULO 3..... 24

MAPEAMENTO DO DESMATAMENTO E DEGRADAÇÃO FLORESTAL NO ESTADO DO MATO GROSSO, AMAZÔNIA BRASILEIRA, UTILIZANDO IMAGENS FRAÇÃO DERIVADAS DAS IMAGENS OLI DO LANDSAT-8

Yosio Edemir Shimabukuroa

Andeise Cerqueira Dutraa

Egídio Arai

Erone Ghizoni dos Santosb

Yhasmin Mendes de Moura

Valdete Duarte

DOI 10.22533/at.ed.0062026103

CAPÍTULO 4..... 39

USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS EXPERIMENTAIS NO MUNICÍPIO DE RIO LARGO - ALAGOAS

Gabriel Paes Marangon

Jhonathan Gomes dos Santos

Andréa de Vasconcelos Freitas Pinto

Christopher Horvath Scheibel

Raquel Elvira Cola

Sthéfany Carolina de Melo Nobre

DOI 10.22533/at.ed.0062026104

CAPÍTULO 5..... 45

ASPECTOS DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO ARBÓREA E DA REGENERAÇÃO NATURAL EM UMA ÁREA RESTAURADA HÁ 15 ANOS NA REGIÃO METROPOLITANA

DE MACEIÓ, AL

Régis Villanova Longhi
Nivandilmo Luiz da Silva
Anderson Arthur Lima dos Santos
Tamires Leal de Lima
Carlos Frederico Lins e Silva Brandão
Gerson dos Santos Lisboa
Luciano Farinha Watzlawick
Andréa de Vasconcelos Freitas Pinto
Lucas Galdino da Silva

DOI 10.22533/at.ed.0062026105

CAPÍTULO 6.....57

AVALIAÇÃO FÍSICA DO SOLO EM FLORESTA PLANTADA DE *eucalyptus sp* VS FLORESTA NATIVA

Thyerre Vinicius dos Santos Mercês
Camilla Sabrine Silva Santos
Catiúrsia Nascimento Dias
Elton da Silva Leite
Bruna Thayná Ferreira da Silva
Felipe Mendes Magalhães
Michelle Luan Gonçalves Santiago

DOI 10.22533/at.ed.0062026106

CAPÍTULO 7.....63

COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DO SUB-BOSQUE LENHOSO DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA SECUNDÁRIA NO MUNICÍPIO DE IGARASSU - PE

Andréa de Vasconcelos Freitas Pinto
Maria Amanda Menezes Silva
Diogo José Oliveira Pimentel
Maria José de Holanda Leite
Camila Alexandre Cavalcante de Almeida
Mayara Dalla Lana
Carlos Frederico Lins e Silva Brandão
Régis Villanova Longhi
Tamires Leal de Lima
Anderson Francisco da Silva
Gabriel Paes Marangon
Maria Jesus Nogueira Rodal

DOI 10.22533/at.ed.0062026107

CAPÍTULO 8.....70

CONTROLE BIOLÓGICO EM FLORESTAS PLANTADAS: CONCEITOS, AVANÇOS E PERSPECTIVAS

Jade Cristynne Franco Bezerra
Thiele Sides Camargo
Ernandes Macedo da Cunha Neto
Débora Monteiro Gouveia

Emmanoella Costa Guaraná Araujo
Claudia Maia de Andrade
Fellipe Kennedy Alves Cantareli
Samia Rayara de Sousa Ribeiro
Lorena Karine Gomes Noronha
Marcela Maria Zanatta
Lara Welter da Silva
Gustavo Antônio Ruffeil Alves

DOI 10.22533/at.ed.0062026108

CAPÍTULO 9..... 82

FLORESCIMENTO EM TESTE DE PROCEDÊNCIA E PROGÊNIES DE *Astronium fraxinifolium* Schott (ANACARDIACEAE) EM TRÊS EVENTOS REPRODUTIVOS

Maiara Ribeiro Cornacini
Marcelo Augusto Mendes Alcantara
Janaína Rodrigues da Silva
Aparecida Juliana Martins Corrêa
José Cambuim
Ricardo de Oliveira Manoel
Patrícia Ferreira Alves
Bruno César Rossini
Ananda Virginia de Aguiar
Mário Luiz Teixeira de Moraes
Celso Luis Marino

DOI 10.22533/at.ed.0062026109

CAPÍTULO 10..... 92

PRECIPITAÇÃO INTERNA EM UM FRAGMENTO DA MATA ATLÂNTICA EM VIÇOSA, MINAS GERAIS

Letícia Soares Gonçalves
Rodolfo Alves Barbosa
Sérgio Guedes Barbosa
Lucas Jesus da Silveira
Aline Gonçalves Spletozer
Herly Carlos Teixeira Dias

DOI 10.22533/at.ed.00620261010

CAPÍTULO 11..... 105

AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA PARA *Manilkara Huberi* (DUCKE) CHEVALIER NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS

Girlene da Silva Cruz
Bruno Rafael Silva de Almeida
Bruno de Almeida Lima
Lucas Cunha Ximenes
Talita Godinho Bezerra
João Ricardo Vasconcellos Gama

DOI 10.22533/at.ed.00620261011

CAPÍTULO 12..... 117

EFEITO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS NA DECOMPOSIÇÃO FOLIAR E NOS TEORES DE NUTRIENTES EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA ATLÂNTICA NO SUL DO ESPÍRITO SANTO

Rafael Luiz Frinhani Rocha
Jéferson Luiz Ferrari
William Macedo Delarmelina
Diego Gomes Júnior
Marcos Vinicius Wincker Caldeira
Júlio César Tannure Faria
Rafael Chaves Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.00620261012

CAPÍTULO 13..... 132

ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL, FLORESTAS SECUNDÁRIAS E MADURAS NA AMAZÔNIA

Carlos Roberto Sanquetta
Ernandes Macedo da Cunha Neto
Emmanoella Costa Guaraná Araujo
Gabriel Mendes Santana
Alexis de Souza Bastos
Marcelo Lucian Ferronato
Mateus Niroh Inoue Sanquetta
Ana Paula Dalla Corte

DOI 10.22533/at.ed.00620261013

CAPÍTULO 14..... 145

ESTUDO DA CADEIA DE COMERCIALIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS NAS FEIRAS LIVRES DO VER-O-PESO E 25 DE SETEMBRO – COM ÊNFASE NA ANDIROBA (*Carapa guianensis* Aubl.) E COPAÍBA (*Copaifera multijuga* Hayne)

Alen Anderson Mafra Meneses
Fabrício Corrêa Amaral
Helena Capela da Silva
Marcela Janaina De Souza Miranda
Renan Moreno Freitas Bandeira

DOI 10.22533/at.ed.00620261014

CAPÍTULO 15..... 156

SECAGEM SOLAR DA BIOMASSA DO CAPIM-ELEFANTE PARA USO EM COMBUSTÃO DIRETA

Anderson Carlos Marafon
André Felipe Câmara Amaral
Juarez Campolina Machado
Adriana Neutzling Bierhals
Hugo Leoncio Paiva
Victor dos Santos Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.00620261015

CAPÍTULO 16..... 167

CONSERVATION PRODUCTION: NETWORK FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF FOREST SEED AND SEEDLINGS

Dan Érico Vieira Petit Lobão
Érico de Sá Petit Lobão
Raul René Mellendez Valle
Ivan Crespo Silva
Kátia Curvelo Bispo dos Santos
Lanns Alves de Almeida Filho

DOI 10.22533/at.ed.00620261016

CAPÍTULO 17..... 187

CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS E EXÓTICAS

Fagner Luciano Moreira
Elzimar de Oliveira Gonçalves
Marcos Vinicius Wincker Caldeira
Adriano Ribeiro de Mendonça
Rafael Luiz Frinhani Rocha
Robert Gomes

DOI 10.22533/at.ed.00620261017

CAPÍTULO 18..... 200

DESENVOLVIMENTO SILVICULTURAL DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO FOSFATADA

Renato Silva Kunz
Marcos Vinicius Wincker Caldeira
Elzimar de Oliveira Goncalves
Paulo Henrique de Souza
William Macedo Delarmelina
Robert Gomes
Rafael Luiz Frinhani Rocha

DOI 10.22533/at.ed.00620261018

CAPÍTULO 19..... 213

IMPLANTAÇÃO DE UM CONSÓRCIO FLORESTAL EM PEQUENAS PROPRIEDADES NO SUL DO ESPÍRITO SANTO: UM CAMINHO PARA O ZONEAMENTO AMBIENTAL

Lomanto Zogaib Neves
Elzimar de Oliveira Gonçalves
Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Kelly Nery Bighi
Wiane Meloni Silva

DOI 10.22533/at.ed.00620261019

CAPÍTULO 20..... 225

USO DE TÉCNICAS MICROSCÓPICAS PARA CARACTERIZAR QUIMICAMENTE A MADEIRA NORMAL E DE COMPRESSÃO DE *Pinus caribaea* MORELET

Alfredo José dos Santos Junior

Natália Dias de Souza
Danielle Affonso Sampaio
Ananias Francisco Dias Júnior
Gabriela Fontes Mayrinck Cupertino
Fabiola Martins Delatorre
Aécio Dantas de Sousa Júnior

DOI 10.22533/at.ed.00620261020

CAPÍTULO 21..... 233

EFICIÊNCIA DE CORES E ODORES COM USO DE ARMADILHAS NA COLETA DE COLEOPTERA: Scolytidae, EM DIFERENTES ÁREAS NO MUNICÍPIO DE JIQUIRIÇÁ-BA

Vanessa Santos da Palma
Rosemeire Silva Oliveira
Luana da Silva Guedes
Rozimar de Campos Pereira
Thiago da Conceição Martins
Juliana Cardoso Ribeiro
Palmira de Jesus Neta
Valdinei dos Santos Silva

DOI 10.22533/at.ed.00620261021

CAPÍTULO 22..... 245

UNIVERSO FLORESTAL

Cintia Dayrane Duarte Moreira
Patrícia Leonídia dos Santos
Emannuely Aparecida Amaral dos Santos
Rodrigo Magalhaes Nunes
Nilza de Lima Pereira Sales
Leticia Renata de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.00620261022

SOBRE A ORGANIZADORA..... 254

ÍNDICE REMISSIVO..... 255

SECAGEM SOLAR DA BIOMASSA DO CAPIM-ELEFANTE PARA USO EM COMBUSTÃO DIRETA

Data de aceite: 01/10/2020

Anderson Carlos Marafon

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Unidade de Execução de Pesquisa e
Desenvolvimento
Rio Largo – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/3638171620010262>

André Felipe Câmara Amaral

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Unidade de Execução de Pesquisa e
Desenvolvimento
Rio Largo – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/7976650138067418>

Juarez Campolina Machado

Embrapa Gado de Leite
Juiz de Fora – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/4138841453673478>

Adriana Neutzling Bierhals

Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Rio Largo – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/4479622472323018>

Hugo Leoncio Paiva

Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Rio Largo – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/6822565845697168>

Victor dos Santos Guimarães

Universidade Federal de Alagoas
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Rio Largo – Alagoas
<http://lattes.cnpq.br/17659550850778299>

RESUMO: O cultivo dedicado do capim-elefante é, reconhecidamente, um dos que apresenta maior potencial produtivo, pois esta gramínea adapta-se muito bem às condições de clima e solo de praticamente todo o Brasil. Além do seu tradicional uso forrageiro, esta espécie tem sido apontada como uma alternativa promissora de biomassa para utilização como insumo energético. Entretanto, as dificuldades de manuseio do capim-elefante no seu estado natural, atribuídas à alta umidade e baixa densidade da biomassa, são gargalos que limitam a maior utilização desta excelente fonte de matéria-prima como biocombustível sólido em processos de geração de energia termelétrica. A presença de altos teores de água reduz consideravelmente a eficiência do processo de conversão energética da biomassa em calor. Neste sentido, a secagem natural ao sol pode promover a desidratação da biomassa, com custos reduzidos, de transporte e estocagem e criar condições ideais para combustão direta, este trabalho teve como objetivo principal avaliar as variações nos teores de umidade da forragem do capim-elefante mediante a exposição solar da biomassa ao sol durante oito dias consecutivos, em época com baixos índices pluviométricos na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Os resultados demonstraram que a exposição ao sol da forragem triturada do capim-elefante proporcionou uma redução de aproximadamente 45% no teor de umidade inicial da biomassa após oito dias de exposição ao sol, sem revolvimento da leira. Também foi observado, um concomitante aumento do poder calorífico superior do capim-elefante com a redução no teor de água da

biomassa. Portanto, a secagem natural ao sol é um processo que apresenta viabilidade técnica de aplicação em épocas e regiões com alta radiação solar, altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e baixos índices pluviométricos.

PALAVRAS-CHAVE: *Pennisetum purpureum*, forragem, desidratação, energia térmica.

SOLAR DRYING OF ELEPHANT GRASS BIOMASS INTENDED FOR DIRECT COMBUSTION

ABSTRACT: The elephant grass dedicated cultivation is recognized as one of the greatest productive potential, because this grass adapts very well to the climate and soil conditions of practically all Brazil. In addition to its traditional forage use, this species has been identified as a promising alternative to biomass for use as an energy feedstock. However, the difficulties in handling elephant grass in its natural state, attributed to the high humidity and low density of biomass, are bottlenecks that limit the greater use of this excellent source of raw material as a solid biofuel in thermoelectric energy generation processes. The presence of high water content considerably reduces the efficiency of the process of converting biomass to heat. In this sense, natural drying in the sun can promote the dehydration of biomass, with reduced costs, of transport and storage and create ideal conditions for direct combustion, this work had as main objective to evaluate how variations in the moisture content of elephant grass forage by exposing the biomass to the sun for eight consecutive days, at a time with low rainfall in the Tabuleiros Costeiros de Alagoas region. The results demonstrated that the exposure to the sun of the elephant grass crushed forage provided a reduction of approximately 45% in the biomass initial moisture content after eight days of solar exposure, without turning the windrow. It was also observed, a concomitant increase in the superior calorific value of elephant grass with the reduction in the water content of the biomass. Therefore, natural drying in the sun is a process that presents technical feasibility of application in times and regions with high solar radiation, high temperatures, low relative humidity and low rainfall.

KEYWORDS: *Pennisetum purpureum*, forage, dehydration, thermal energy.

1 | INTRODUÇÃO

As cadeias de suprimento de biomassa para geração de energia e/ou vapor em usinas termelétricas (UTES) envolvem elementos críticos que influenciam a viabilidade dos investimentos, sendo que a maior competitividade dos projetos passa pela otimização do uso de sua capacidade instalada, o que depende, essencialmente, da oferta e disponibilidade de materiais combustíveis e, principalmente, do seu custo de produção e/ou aquisição. A adoção de processos tecnológicos de co-combustão de matérias-primas permite aliviar os desafios da sazonalidade na oferta de combustíveis sólidos, ampliando o período de utilização da infraestrutura industrial e, com isso, gerar ganhos adicionais com a produção de vapor e energia (Demirbas, 2005).

O uso da biomassa para geração de energia térmica por meio de combustão direta ou da produção combinada de energia térmica e mecânica (cogeração), vêm assumindo posição proeminente em questões de energia e meio ambiente. Com a perspectiva de

aumento de até 50% na demanda de energia elétrica no Brasil até 2030, a diversificação e descentralização da produção de energia a partir de fontes renováveis como a biomassa são opções favoráveis ao atendimento desta demanda. Além dos resíduos agrícolas disponíveis regionalmente, os cultivos energéticos dedicados à biomassa são excelentes alternativas para a obtenção de matéria-prima para produção de bioenergia (Marafon et al., 2016a).

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum., synonymy of *Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone) é uma gramínea semiperene que apresenta ciclo curto e excelente adaptação edafoclimática, sendo apontado como promissora alternativa de insumo energético, sobretudo, por sua alta produção anual de biomassa seca (40 a 45 Mg ha⁻¹) e por suas características qualitativas de interesse (Morais et al., 2009).

No que tange ao uso da biomassa como combustível sólido, as principais características que influenciam seu desempenho energético são a densidade, o tamanho e a forma das partículas, o poder calorífico superior e os teores de umidade, cinzas, fibras, lignina e extrativos (Jenkins et al., 1998). O teor de umidade é a característica de qualidade mais importante no combustível, uma vez que em excesso produz grandes flutuações na produção de energia da caldeira. Os valores desta propriedade, na biomassa, em geral são altos, situando-se entre 50 e 65% (base úmida), dependendo do tipo ou parte da planta e da estação do ano. A umidade elevada em um combustível reduz sua eficiência energética, uma vez que na combustão, a água precisa ser evaporada (Fusco et al., 2015) e a energia necessária para esta evaporação é perdida no processo de geração de energia (Li et al., 2012).

Dentre os principais entraves encontrados para o uso do capim-elefante como matéria-prima para combustão direta está a necessidade de redução da umidade da biomassa, visto que, quanto menor a umidade maior é a produção de calor do combustível, e que em termos práticos, só é possível queimar materiais com até 50% de água (Cortez et al., 2008). As dificuldades de manuseio do capim-elefante no seu estado natural para o uso como biocombustível sólido em processos de geração de energia termelétrica, atribuídas à alta umidade e baixa densidade da biomassa, são gargalos que limitam a maior utilização desta excelente fonte de matéria-prima limpa e renovável. Neste aspecto, a radiação solar pode ser aproveitada para a desidratação natural da biomassa, aumentando sua densidade energética, e reduzindo com isso as despesas com processos de secagem induzida. A secagem natural ao sol é uma das opções de baixo custo que pode reduzir despesas em plantas de processamento.

A secagem da biomassa é uma etapa importante e desafiadora que depende de parâmetros críticos como integração de calor, controle de emissões e desempenho do secador. O processo de secagem envolve a perda de água por meio da transferência simultânea de calor do meio externo para a biomassa e do fluxo de vapor de água da biomassa para a atmosfera (Lasseram, 1978).

A secagem solar ao ar livre é, em geral, o método de menor custo dentre os métodos tradicionais de secagem (secadores rotativos, túneis, ciclones, avanço de roscas). Contudo, é um processo lento e que depende, sobretudo, das condições climáticas, cujas variáveis ambientais que interferem na desidratação são: radiação solar, temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. O processo de secagem também pode ser induzido, em estufas ou secadores rotativos, através do uso de gases quentes (caldeiras e fornos de combustão), cujos agentes de secagem mais usuais são os produtos da combustão da própria biomassa. A secagem induzida pode ser direta (secador universal), que consiste basicamente na introdução de gases quentes (300 a 800°C) em um tambor giratório (rotativo) ou indireta onde o fluido térmico (ar aquecido) passa pelo secador e por um condensador para separar as substâncias evaporadas, e volta a ser aquecido e utilizado (circuito fechado) (Fagernäs et al., 2010). Os secadores rotativos são os mais utilizados, e operam com teores de umidade médios da biomassa pós-secagem entre 10 e 45% (Li et al., 2012).

Tendo em vista que a exposição solar promove a desidratação da biomassa com custos reduzidos, o objetivo deste trabalho foi avaliar as variações nos teores de umidade da forragem do capim-elefante colhido com 10 meses de idade mediante sua exposição solar durante oito dias, em época com menores registros pluviométricos anuais na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Usina Seresta, situada no município de Teotônio Vilela, Estado de Alagoas, durante o mês de fevereiro de 2019, com objetivo de avaliar a eficiência da secagem natural ao sol da forragem do capim-elefante.

O capim-elefante utilizado foi o clone Madeira (BAGCE 145), com idade de 10 meses, material genético que compõe o Banco Ativo de Germoplasma de Capim-Elefante (BAGCE) da Embrapa Gado de Leite. O material foi triturado por uma colhedora de forragens em partículas de 1 a 3 cm, sendo disposto em leira sobre chão batido, numa camada com altura aproximada de 50 cm e mantido durante oito dias sob exposição direta ao sol, sem revolvimento (Figura 2).



Figura 1. Disposição da forragem para secagem ao sol do capim-elefante.

A secagem ao sol foi realizada em terreno de chão batido, para evitar o contato da biomassa com o solo e o aumento do seu grau de impurezas, entretanto, também poderia ter sido feita em pátios com piso revestido por lama asfáltica ou cimento.

A avaliação do teor de umidade (%) foi efetuada diariamente, a partir da coleta de amostras homogêneas em distintas posições da leira. A umidade foi determinada em estufa à 105° C por 48 h ou até completa desidratação (massa constante), de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2003). Durante o período experimental não houve ocorrência de chuvas, sendo registradas médias de 25,9° C de temperatura e 72% de umidade relativa do ar. Complementarmente, também foi realizado um ensaio visando determinar do poder calorífico superior (PCS) do capim-elefante com diferentes teores de umidade: 0, 10, 20, 30, 40 e 50%. O PCS foi determinado em um Calorímetro modelo C 2000 (IKA), de acordo com a norma NBR 11956 (ABNT, 1990).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A exposição ao sol da forragem do capim-elefante durante um período de oito dias consecutivos, sem revolvimento da leira, promoveu a redução de 45 % no teor de umidade da biomassa, a qual passou de 69,3 % na data da colheita para 38,1% após este tempo de secagem natural (Figura 2).

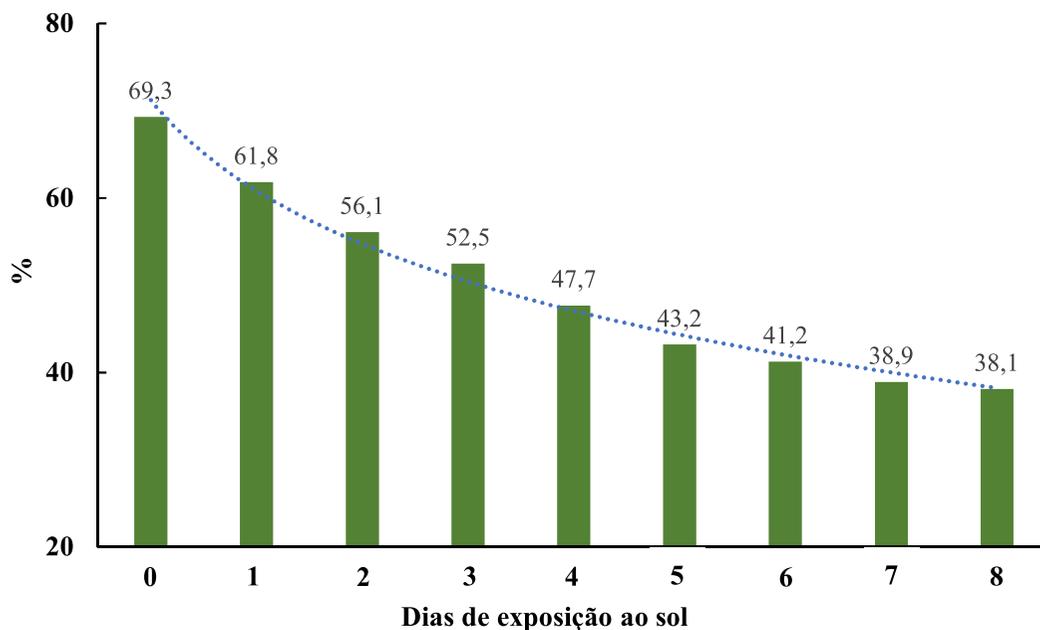


Figura 2. Teor de umidade da forragem triturada do capim-elefante durante oito dias de exposição ao sol sem revolvimento. Teotônio Vilela/AL, 2019.

A curva de desidratação do capim-elefante apresenta formato exponencial, de tal forma que, nas primeiras 24 horas ocorre uma rápida desidratação, mas após esta fase, cada ponto percentual de perda de água requer mais tempo. Nas condições climáticas da região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, a secagem natural ao sol possibilitou a redução da umidade do capim-elefante triturado de 69,3 % para 38,1 % após 8 dias de exposição solar, sem revolvimento da forragem (camada de 50 cm), durante a estação do verão, em período com baixos registros pluviométricos. Silva (2012) também constatou um ganho energético de 30,8 % no poder calorífico do capim-elefante triturado e seco ao sol em relação à umidade inicial da colheita (70 %), demonstrando que o processo de secagem ao sol apresenta viabilidade técnica para a alimentação de fornalhas e caldeiras de combustão.

Bertel (2015) afirmou que, embora o tempo de secagem ao sol do capim-elefante seja menor do que para o eucalipto, são necessárias áreas maiores para a secagem e armazenagem do capim-elefante, devido à sua baixa densidade e a altura máxima considerada. Ao contrário da secagem do eucalipto que se dá durante meses de exposição ao sol, a secagem do capim-elefante é rápida. No entanto, o material necessita ser seco rapidamente após a colheita e trituração, para evitar riscos de fermentações indesejáveis e a decomposição da biomassa (Santos et al., 2011).

A obtenção de uma biomassa com níveis adequados de água depende da finalidade de uso do material e do tipo de forno ou de caldeira de combustão a ser utilizado. Os sistemas

de cogeração de alta eficiência que utilizam biomassa como combustível são normalmente projetados para operar em faixas específicas de umidade. Alguns gaseificadores, por exemplo, são projetados para operar com umidades entre 10% a 20%. Já caldeiras de queima em suspensão normalmente operam em faixas de umidade mais altas de até 50%, pois o sistema de alimentação já prevê que durante a queda da biomassa se dará o processo de secagem, com a queima ocorrendo ainda em suspensão ou acima da grelha basculante. Já, as caldeiras de grelha utilizadas na indústria de papel e celulose admitem diferentes níveis de umidade do combustível, mas operam de forma ideal utilizando biomassas entre 30 até 40% de água. Um aumento da umidade além dos limites de operação projetado causa instabilidade no sistema como um todo, devido à diminuição da temperatura da zona de combustão. Isso ocasiona não somente a perda de eficiência dos sistemas de combustão, como também aumento nas emissões ambientais e diminuição da vida útil devido à formação de depósitos de espécies químicas corrosivas em zonas não adequadas (Nakai et al., 2016). Desta forma, a remoção da umidade da biomassa, mediante secagem é uma estratégia fundamental para aumentar o poder calorífico dos materiais e a eficiência energética da combustão.

Da mesma forma que se procede com a fenação, o caso da secagem da biomassa forrageira para fins de combustão, há necessidade de se efetuar a disposição do material triturado em camadas, cuja altura deve variar de acordo com a umidade inicial do material e a adoção ou não da prática do revolvimento do material.

Para acelerar a taxa de desidratação, a prática de revolvimento da forragem é de fundamental importância, principalmente nas fases iniciais do processo de secagem, quando o conteúdo de água é elevado (60 a 70%). O revolvimento das leiras acelera e uniformiza a secagem, trazendo as camadas internas (mais úmidas) para a superfície, o que proporciona maior circulação de ar, reduzindo a compactação e acelerando a transferência de umidade da biomassa para a atmosfera (Rotz & Muck, 1994). Nos primeiros dias o revolvimento deve ser mais frequente, com pelo menos dois revolvimentos diários, um pela manhã e outro pela tarde. O revolvimento das pilhas pode ser efetuado com ancinhos, principalmente nas primeiras horas após o corte, reduzindo riscos de incidência de processos fermentativos indesejáveis.

Além dos fatores climáticos, a taxa de secagem também depende de fatores inerentes à planta, dentre eles: (1) teor de água na colheita, o qual varia em função da idade da planta, do estágio fenológico e da época do ano e (2) relação folha:colmo, onde a maior proporção de folhas é favorável, pois os colmos apresentam maior resistência à desidratação. Meehan et al. (2014) constataram que o conteúdo de água diminui significativamente com o avanço da idade, especialmente quando a colheita é realizada em épocas de menor pluviosidade, e que esta redução na umidade pode ser intensificada pela adoção da prática do emurchecimento, a qual consiste em cortar o material e permitir que ele seque o campo por um período de tempo, antes da coleta.

Marafon et al. (2016b) ressaltam a importância de se promover uma adequada secagem do capim-elefante, para obtenção de ganhos energéticos e a prevenção de problemas de armazenamento como a má conservação da biomassa. Para ilustrar a influência positiva da redução da umidade no desempenho do processo termoquímico foram efetuadas análises do poder calorífico superior (PCS) da forragem do capim-elefante com teores crescentes de água (0, 10, 20, 30, 40 e 50%) (Tabela 2).

Umidade (%)	PCS (kcal kg ⁻¹)	Perda de calor (%)
0	4308	-
10	3887	9,78
20	3541	17,81
30	3258	24,37
40	3040	29,43
50	2860	33,61

Tabela 2. Poder calorífico superior (PCS) do capim-elefante e a respectiva perda de calor em função do aumento da umidade da biomassa.

Houveram gradativas reduções nos valores PCS da biomassa concomitantes com o aumento no seu teor de água. A desidratação completa da biomassa do capim-elefante com umidade inicial de 50% proporciona incremento de 49,4% no poder calorífico superior da biomassa. Enquanto o PCS da forragem totalmente seca foi de 4.308 kcal kg⁻¹, o PCS das amostras com 50% de umidade de 2.860 kcal kg⁻¹. Silva & Morais (2008) também observaram incremento de 60 % no PCS do bagaço de cana a partir da redução da umidade de 50 % (2.275 kcal kg⁻¹) para 20 % (3.641 kcal kg⁻¹). Apesar do significativo ganho energético, os autores ressaltam que processos de secagem são onerosos e o alto consumo de energia pode inviabilizá-los.

A presença de umidade na biomassa acarreta redução do seu poder calorífico, pois parte do calor gerado é consumido na evaporação da água e no aquecimento dos vapores para atingir a temperatura dos demais gases. Além de proporcionar aumento no poder calorífico da biomassa, a secagem contribui para reduzir emissões de poluentes primários (particulados, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e gases ácidos) gerados na combustão, os quais podem ser controlados também pela regulagem correta do fornecimento do ar primário e secundário da câmara de combustão (Jenkins et al., 1998). A redução no teor de umidade da biomassa também contribui para diminuir a emissão de outros poluentes provenientes da combustão incompleta, tais como metais pesados, compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos aromáticos (Fusco et al., 2015). Entretanto, não há correlação inequívoca entre o teor de umidade e estas emissões, uma vez que dependem do tipo e da forma de operação do equipamento (Wimmerstedt, 1999).

A redução da umidade através da secagem ao sol é um processo de baixo custo que aumenta a densidade energética da biomassa, proporcionando a redução de custos de transporte e estocagem da biomassa e aumentando a eficiência do processo de combustão. O aumento na densidade energética da biomassa proporcionado pela redução da umidade pode melhorar a rentabilidade econômica da atividade, especialmente, pela redução de custos com armazenamento e transporte, visto que, os custos envolvidos nas operações de corte, transbordo, transporte e descarregamento respondem por cerca de 35% do custo total de produção.

Em épocas com registros de maiores índices pluviométricos, a secagem ao sol somente pode ser realizada em pátios com uso de barcaças móveis ou em estufas e galpões cobertos que permitam a penetração da radiação solar e a circulação do ar, além da necessidade de revolvimento da forragem. Em relação à influência positiva do revolvimento, vale mencionar os testes realizados nesta mesma região por Paiva (2016), o qual constatou que a secagem do capim-elefante disposto em camada com 20 cm de altura, com revolvimento da forragem promoveu significativas reduções no teor de umidade inicial do material que passou de 65,1% para 52,1%, 31,1% e 13,8% após 3, 6 e 9 dias de exposição ao sol, respectivamente. Concomitante, houve diminuição da densidade da forragem, que passou de 284,6 kg m⁻³ na data de colheita para 186, 106 e 80 kg m⁻³ após 3, 6 e 9 dias de exposição ao sol, respectivamente.

O revolvimento favorece a secagem das pilhas de forragem mantidas no campo ou em pátios, sendo mais eficiente no início da secagem, quando o conteúdo de água da varia de 50 a 66%. Durante esta fase, a forragem seca rapidamente na superfície, enquanto dentro da pilha ou da leira a desidratação é lenta (McDonald & Clark, 1987).

Apesar do elevado poder calorífico, a baixa densidade do capim-elefante tem repercussões no custo da biomassa, aumentando o custo para seu processamento. Isso afeta significativamente a competitividade deste combustível sólido na geração de energia termelétrica em grande escala. Sendo assim, o adensamento da biomassa do capim-elefante em fardos, briquetes ou pellets, poderia aumentar a sua viabilidade econômica pois melhora sua uniformidade em termos de tamanho, forma e densidade.

Outra alternativa para a desidratação da biomassa é a extração do caldo do capim-elefante, o qual pode ser aproveitado para produção de biogás e também como biofertilizante organomineral. Este processo apresenta outra vantagem pois reduz o conteúdo de cinzas do material que será utilizado como combustível sólido. Tanto para a secagem natural quanto para a artificial, a extração prévia do caldo com uso de moendas adequadamente dimensionadas pode ser muito eficiente. Estudos mostraram ser possível de se extrair mais de 200 litros de caldo com capim-elefante por tonelada de matéria fresca (Sumner & Hellwig, 1988). Além disso, Dayton et al. (1999) observaram reduções nos teores de cloro (40 a 50%) e potássio (37 a 84%), principais elementos causadores de corrosão e incrustação em fornos e caldeiras.

4 | CONCLUSÃO

A secagem ao sol da forragem do capim-elefante promove redução de 45 % na umidade da biomassa após oito dias de exposição ao sol durante o período com menores registros de chuvas na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

A desidratação completa da biomassa do capim-elefante com umidade inicial de 50% proporciona incremento de 49,4% no poder calorífico superior da biomassa.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11956** - Coque: determinação do poder calorífico superior. Rio de Janeiro, 1990. 6 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11956** - Madeira: determinação do teor de umidade em cavacos – Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BERTEL, Q. R. Q. Avaliação Técnico-Econômica da Conversão Termoquímica de Biomassa Madeireira e Herbácea em Energia Elétrica “Sistemas Agroenergéticos”. **Tese** (Doutorado em Engenharia Mecânica). 2015, 185 p. Universidade Federal de Itajubá, MG.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008. 734p.

DAYTON, D. C.; JENKINS, B. M.; TURN, S. Q.; BAKKER, R. R.; WILLIAMS, R. B.; BELLE-ODRY, D.; HILL, L. M. Release of inorganic constituents from leached biomass during thermal conversion. **Energy & Fuels**, v. 13, p. 860-870, 1999.

DEMIRBAS, A. Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. **Progress in energy and combustion Science**, v. 31, n. 2, p. 171-192, 2005.

FAGERNÄS, L.; BRAMMER, J.; WILÉN, C.; LAUER, M.; VERHOEFF, F. Drying of biomass for second generation synfuel production. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 9, p. 1267-1277, 2010.

FUSCO, L.; JEANMART, H.; BLONDEAU, J. A modelling approach for the assessment of an air-dryer economic feasibility for small-scale biomass steam boilers. **Fuel Processing Technology**, v. 134, p. 251-258, 2015.

JENKINS, B.; BAXTER, L.L.; MILES, T.R. Combustion properties of biomass. **Fuel processing technology**, v. 54, n. 1, p. 17-46, 1998.

LASSERAM, J. C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 3, p. 17-45, 1978.

LI, H.; CHEN, Q.; ZHANG, X.; FINNEY, K.N.; SHARIFI, V.N.; SWITENBANK, J. Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: A case study. **Applied Thermal Engineering**, v. 35, p. 71-80, 2012.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARÃES, V. S. **Uso da biomassa para a geração de energia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016a, 28 p. (Documentos, 211).

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARÃES, V. S. **Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016b, 28 p. (Boletim de Pesquisa, 115).

McDONALD, A. D.; CLARK, E. A. Water and quality loss during field drying of hay. **Advances in Agronomy**, v. 41, p. 407-437, 1987.

MEEHAN, P.; MCDONNELL, K.; GRANT, J.; FINNAN, J. The effect of harvest time and pre harvest treatment on the moisture content of *Miscanthus x giganteus*. **European Journal of Agronomy**, v. 56, p. 37-44, 2014.

MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J.; LEITE, J. M.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 133-140, 2009.

NAKAI, D. K.; MAY, A.; SILVA, M. A.; PARRELLA, R. A. C. **Uso do sorgo biomassa em caldeiras de combustão: cuidados, precauções e fatores relacionados à qualidade da matéria-prima**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 18 p. (Documentos, 205).

PAIVA, H. L. Secagem do capim-elefante visando o aumento da eficiência do processo de conversão térmica. **Monografia** (Graduação em Agronomia) 2017. 33 p. Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, AL.

ROTZ, C. A., MUCK, R. E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAHEY JR., G.C. **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison. American Society of Agronomy. 1994. p. 828-868.

SANTOS, M.L.; LIMA, O. J. NASSAR, E.J.; CIUFFI, K.J.; CALEFI, P.S. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. **Química Nova**, v.34, n.3, p. 507-511, 2011.

SILVA, E. Biomassa cultivada para produção de energia: estudo comparativo entre capim-elefante e eucalipto com a incorporação da energia solar na secagem. **Dissertação** (Mestrado em Engenharias de Energia). 2012, 94 p. Universidade Federal de Itajubá, MG.

SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 28, **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

SUMNER, H.R.; HELLWIG, R.E. Crushing rolls to accelerate napiergrass drying. **Biomass**, v. 15, p. 1-9, 1988.

WIMMERSTEDT, R. Recent advances in biofuel drying. **Chemical Engineering And Processing: Process Intensification**, v. 38, n. 4, p. 441-447, 1999.