

# MEIO AMBIENTE E CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA  
UM FUTURO SUSTENTÁVEL

VOLUME III



HIGOR COSTA DE BRITO  
ORGANIZADOR

# MEIO AMBIENTE E CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA  
UM FUTURO SUSTENTÁVEL

VOLUME III



HIGOR COSTA DE BRITO  
ORGANIZADOR



**2025 - Ampla Editora**

**Copyright** © Ampla Editora

**Editor Chefe:** Leonardo Tavares

**Design da Capa:** Ampla Editora

**Meio ambiente e ciências agrárias: desafios e soluções para um futuro sustentável – Volume III** está licenciado sob CC BY 4.0.



Essa licença permite que outros remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho para fins não comerciais e, embora os novos trabalhos devam ser creditados e não possam ser usados para fins comerciais, os usuários não precisam licenciar esses trabalhos derivados sob os mesmos termos. O conteúdo da obra e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição oficial da Ampla Editora. O download e o compartilhamento da obra são permitidos, desde que os autores sejam reconhecidos. Todos os direitos desta edição foram cedidos à Ampla Editora.

**ISBN:** 978-65-5381-289-5

**DOI:** 10.51859/ampla.mac5295-0

**Ampla Editora**

Campina Grande – PB – Brasil  
[contato@amplaeditora.com.br](mailto:contato@amplaeditora.com.br)  
[www.amplaeditora.com.br](http://www.amplaeditora.com.br)

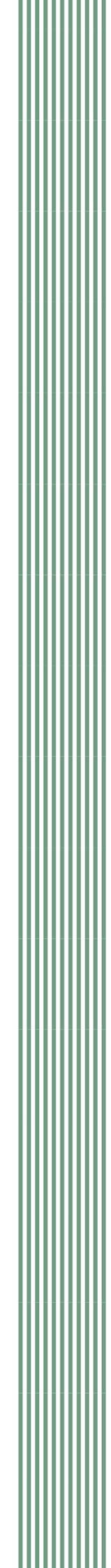


**2025**

# CONSELHO EDITORIAL

Adilson Tadeu Basquerote – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Alexander Josef Sá Tobias da Costa – Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará  
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará  
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia  
Caio Augusto Martins Aires – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista  
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande  
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires  
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas  
Caroline Barbosa Vieira – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul  
Christiano Henrique Rezende – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará  
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí  
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande  
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba  
Denilson Paulo Souza dos Santos – Universidade Estadual Paulista  
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais  
Dinara das Graças Carvalho Costa – Universidade Estadual da Paraíba  
Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande  
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano  
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí  
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará  
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador  
Fábio Ronaldo da Silva – Universidade do Estado da Bahia  
Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Fredson Pereira da Silva – Universidade Estadual do Ceará  
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará  
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura  
Glécia Morgana da Silva Marinho – Pontifícia Universidad Católica Argentina Santa Maria de Buenos Aires (UCA)  
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande  
Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo – Fundação Oswaldo Cruz  
Igor Lima Soares – Universidade Federal do Ceará  
Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande  
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas  
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará  
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas  
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina  
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas  
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo  
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba  
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife  
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará  
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia  
Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos  
Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador  
Lara Luiza Oliveira Amaral – Universidade Estadual de Campinas  
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Lisiane Silva das Neves – Universidade Federal do Rio Grande  
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará  
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário  
Luciana de Jesus Botelho Sodré dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão  
Luís Miguel Silva Vieira – Universidade da Madeira  
Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central  
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande  
Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa  
Marcelo Henrique Torres de Medeiros – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará  
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz  
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia  
Maria Carolina da Silva Costa – Universidade Federal do Piauí  
Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas  
Marina Magalhães de Morais – Universidade Federal do Amazonas  
Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia  
Michele Antunes – Universidade Feevale  
Michele Aparecida Cerqueira Rodrigues – Logos University International  
Miguel Ysrrael Ramírez-Sánchez – Universidade Autônoma do Estado do México  
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais  
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense  
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte  
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso  
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia  
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão  
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos  
Ramôn da Silva Santos – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará  
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras  
Regina Márcia Soares Cavalcante – Universidade Federal do Piauí  
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns  
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará  
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande  
Rubia Katia Azevedo Montenegro – Universidade Estadual Vale do Acaraú  
Sabryna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais  
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará  
Selma Maria da Silva Andrade – Universidade Norte do Paraná  
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia  
Silvana Carlotto Andres – Universidade Federal de Santa Maria  
Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca  
Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus  
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Thiago Sebastião Reis Contarato – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Tiago Silveira Machado – Universidade de Pernambuco  
Valvenarg Pereira da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Vinícius Queiroz Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia  
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba  
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras  
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology  
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande  
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima  
William Roslindo Paranhos – Universidade Federal de Santa Catarina  
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande  
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz  
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande

2025 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

**Catálogo na publicação**  
**Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

M514

Meio ambiente e ciências agrárias: desafios e soluções para um futuro sustentável  
/ Organização de Higor Costa de Brito. – Campina Grande/PB: Ampla, 2025.

(Meio ambiente e ciências agrárias, V. 3)

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-289-5

DOI 10.51859/ampla.mac5295-0

1. Meio ambiente. 2. Ciências agrárias. I. Brito, Higor Costa de (Organizador). II.  
Título.

CDD 577

Índice para catálogo sistemático

I. Meio ambiente

**Ampla Editora**  
Campina Grande – PB – Brasil  
contato@amplaeditora.com.br  
www.amplaeditora.com.br

# PREFÁCIO

A obra “Meio ambiente e ciências agrárias: desafios e soluções para um futuro sustentável” foi organizado para conduzir o leitor da escala da paisagem à dos sistemas produtivos e, por fim, às aplicações socioculturais do conhecimento. Os capítulos partem do planejamento ambiental e da conservação apoiados por geotecnologias e sensoriamento, avança por manejo agrícola e inovação florestal, incorpora tecnologias ambientais orientadas à circularidade e examina arranjos produtivos e comunitários antes de chegar a usos alternativos de plantas e saberes tradicionais. Essa progressão espelha uma ecologia de métodos e problemas, em que decisões territoriais, desempenho agrônomo, materiais de base biológica e governança local são componentes de um mesmo sistema de transição sustentável.

O volume se inicia com o eixo de planejamento e conservação, no qual métricas de conectividade, modelagem de corredores e análises espaciais apoiadas em sistemas de informações geográficas e aeronaves remotamente pilotadas qualificam o diagnóstico e a priorização de ações em paisagens sob pressão. A integração entre dados de campo, sensoriamento remoto e comunicação científica é tratada como parte da própria governança: transformar evidências em linguagem acessível amplia o controle social e a efetividade das políticas.

Em seguida, a obra aborda sustentabilidade agrícola e produção vegetal com ênfase em abordagens integradas de manejo. Discutem-se respostas fisiológicas ao estresse hídrico e estratégias de mitigação em contexto de mudanças climáticas, conectando o metabolismo das plantas a decisões de campo (densidade de plantio, coberturas, nutrição e viveirismo). A diversificação produtiva e nutricional é tratada tanto pela valorização de espécies alimentares subutilizadas quanto pelo estudo da variabilidade morfológica em cultivos, apontando caminhos para sistemas mais resilientes. O bloco subsequente, focado em inovação no setor florestal, examina cadeias de fibras de rápido crescimento e madeira engenheirada sob a ótica de desempenho, durabilidade e conformidade ambiental. São discutidas rotas tecnológicas para substituição de insumos fósseis por alternativas bio-baseadas (como adesivos de

origem vegetal) e o uso de nanoestruturas para aprimorar propriedades de painéis, bem como a gestão de emissões e resíduos segundo princípios de análise de ciclo de vida.

O quarto eixo reúne tecnologias ambientais com alto potencial sistêmico. Destacam-se condicionadores de solo à base de carbono, sintetizando efeitos físicos, químicos e biológicos que elevam a qualidade do solo enquanto contribuem para o sequestro de carbono. Sistemas de biodigestão evidenciam a simbiose entre produção e saneamento ambiental ao converter efluentes em energia e biofertilizantes, fechando ciclos de nutrientes e reduzindo emissões. Propõem-se critérios comparativos — eficiência, custos, riscos, escalabilidade e aderência regulatória — para orientar implementação em políticas e investimentos. Na sequência, a discussão sobre produção animal e dinâmicas comunitárias demonstra que sustentabilidade depende tanto de ambiência, sanidade e logística quanto de regras e instituições: arranjos de ordenamento participativo e monitoramento compartilhado são mecanismos para conciliar produtividade, conservação e justiça social em territórios rurais.

O livro se conclui com aplicações alternativas de plantas e saberes tradicionais, mostrando como o encontro entre etnoconhecimento, química verde e design de materiais gera soluções de baixo impacto e alto valor agregado. Em lugar de uma solução única, a obra oferece uma arquitetura de soluções complementares que conectam ciência e implementação, com ambição clara: fortalecer segurança alimentar, resiliência hídrica e climática, conservação da biodiversidade e bem-estar coletivo por meio de parcerias entre universidades, setor produtivo, governos e comunidades.

Tenham uma excelente leitura!

Higor Costa de Brito  
*Doutor em Engenharia Civil e Ambiental*

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I.</b> INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO PARA A PROMOÇÃO DA CONECTIVIDADE ECOLÓGICA: UMA ANÁLISE ESPACIAL APLICADA À RESERVA BIOLÓGICA DE PEDRA TALHADA.....	11
<b>CAPÍTULO II.</b> <i>REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS</i> (RPAS) E PLANTAS ESPONTÂNEAS: UMA ABORDAGEM NO CONTEXTO DA CIÊNCIA FLORESTAL E AGRÍCOLA.....	22
<b>CAPÍTULO III.</b> “NOSSO CÉU NEM SEMPRE É AZUL”: ELEMENTOS PARA UMA ANIMAÇÃO SOBRE AS CONSEQUÊNCIAS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA.....	36
<b>CAPÍTULO IV.</b> A CULTURA DA SOJA: UMA ABORDAGEM INTEGRADA.....	51
<b>CAPÍTULO V.</b> COMO A CRISE CLIMÁTICA AFETA O CRESCIMENTO VEGETAL? UMA REVISÃO DOS IMPACTOS E ATENUADORES DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS.....	61
<b>CAPÍTULO VI.</b> EFEITO DA DENSIDADE DE PLANTIO NA CULTURA DA ACARIÇOBA EM SOLO DE ESTRUTURA DE GRÃO SIMPLES E AGREGADO NO MUNICÍPIO DE ANÁPOLIS – GOIÁS.....	77
<b>CAPÍTULO VII.</b> COBERTURAS E ADUBAÇÃO FOLIAR NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MYRACRODRUON URUNDEUVA EM TÚNEL BAIXO.....	90
<b>CAPÍTULO VIII.</b> POTENCIAL NUTRICIONAL DA FOLHA DA <i>PERESKIA ACUAEATA</i> MILLER (ORA-PRO-NÓBIS) – REVISÃO <i>BIBLIOGRÁFICA</i> .....	103
<b>CAPÍTULO IX.</b> PIMENTAS E SUA DIVERSIDADE MORFOLÓGICA.....	123
<b>CAPÍTULO X.</b> CADEIA PRODUTIVA DO BAMBU LAMINADO COLADO.....	136
<b>CAPÍTULO XI.</b> TRATAMENTOS PRESERVATIVOS APLICADOS AO BAMBU: UMA REVISÃO CONTEXTUAL.....	151
<b>CAPÍTULO XII.</b> OBSTÁCULOS TECNOLÓGICOS DO USO DO BAMBU PARA FINS INDUSTRIAIS NO BRASIL: UMA REVISÃO CONTEXTUAL.....	165
<b>CAPÍTULO XIII.</b> CARDANOL COMO ADESIVO SUSTENTÁVEL PARA APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA.....	179
<b>CAPÍTULO XIV.</b> NANOTECNOLOGIA NO SETOR MADEIREIRO: O PAPEL DAS NANOPARTÍCULAS DE SÍLICA EM PAINÉIS AGLOMERADOS.....	190
<b>CAPÍTULO XV.</b> EMISSÃO DE FORMALDEÍDO EM PAINÉIS AGLOMERADOS: CONSEQUÊNCIAS PARA O MEIO AMBIENTE E A QUALIDADE DO AR.....	201

<b>CAPÍTULO XVI.</b> ADESIVOS SINTÉTICOS PARA COLAGEM DE MADEIRA E SEUS DERIVADOS.....	213
<b>CAPÍTULO XVII.</b> IMPLMENTAÇÃO DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA USINA DE TRATAMENTO DE MADEIRAS .....	228
<b>CAPÍTULO XVIII.</b> TECNOLOGIA VERDE: RESINAS, ÓLEOS E EXTRATOS VEGETAIS COMO ALTERNATIVAS AOS PRODUTOS CONVENCIONAIS PARA PROTEÇÃO DA MADEIRA.....	237
<b>CAPÍTULO XIX.</b> USO DE BIOCHAR COMO CONDICIONADOR DE SOLO: REVISÃO DOS EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS.....	253
<b>CAPÍTULO XX.</b> BIODIGESTOR: TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL PARA A SUINOCULTURA MODERNA.....	267
<b>CAPÍTULO XXI.</b> TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE .....	282
<b>CAPÍTULO XXII.</b> DESENVOLVIMENTO DA AVICULTURA NA ILHA DE SÃO LUÍS, ESTADO DO MARANHÃO E SEU POTENCIAL DE CRESCIMENTO.....	290
<b>CAPÍTULO XXIII.</b> CARACTERIZAÇÃO DA POLÍTICA DE ORDENAMENTO COMUNITÁRIA DO CAMARÃO DA AMAZÔNIA <i>MACROBRACHIUM AMAZONICUM</i> (HELLER, 1862), NA ILHA DO MARAJÓ, AMAZÔNIA ORIENTAL .....	301
<b>CAPÍTULO XXIV.</b> O USO DE PLANTAS MEDICINAIS PELA COMUNIDADE AFRO-BRASILEIRA DA CARNAÚBA: CONHECER PARA VALORIZAR.....	312
<b>CAPÍTULO XXV.</b> PIGMENTAÇÃO NATURAL COM AÇAFRÃO E BOLDO.....	321
<b>CAPÍTULO XXVI.</b> ESTUDO DO POTENCIAL DO EXTRATO DE FOLHAS DE EUCALIPTO PARA O TINGIMENTO NATURAL E PROTEÇÃO UV EM TECIDOS DE SEDA.....	328

## INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO PARA A PROMOÇÃO DA CONECTIVIDADE ECOLÓGICA: UMA ANÁLISE ESPACIAL APLICADA À RESERVA BIOLÓGICA DE PEDRA TALHADA

### INTEGRATION OF GEOTECHNOLOGIES AND CONSERVATION STRATEGIES FOR THE PROMOTION OF ECOLOGICAL CONNECTIVITY: A SPATIAL ANALYSIS APPLIED TO THE PEDRA TALHADA BIOLOGICAL RESERVE

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-1

Andressa Gonçalves Silva <sup>1</sup>  
Carlos Frederico Lins e Silva Brandão <sup>2</sup>  
Anderson Santos da Silva <sup>2</sup>  
Allysson Henrique da Silva <sup>1</sup>  
Mayara Dalla Lana <sup>3</sup>  
Renata do Nascimento Jucá <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduandos do curso de Agronomia. Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE

<sup>2</sup>Professores do curso de Agronomia. Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE

<sup>3</sup>Professora do curso Técnico de Meio Ambiente. Instituto Federal de Pernambuco, Campus Garanhuns (IFPE).

#### RESUMO

O desmatamento no Brasil tem ocasionado severos impactos na cobertura vegetal e na biodiversidade, com destaque para a perda de ecossistemas como a Floresta Atlântica e a Caatinga. Em 2023, o país perdeu mais de 90 milhões de hectares de vegetação nativa, agravando a fragmentação de habitats e comprometendo processos ecológicos essenciais, como o ciclo hidrológico e a biodiversidade. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar os diversos usos e a cobertura de solo presente na Unidade de Conservação Reserva Biológica de Pedra Talhada, situada entre os estados de Alagoas e Pernambuco, e em sua área de entorno. A delimitação da área foi feita utilizando o Google Earth Pro, considerando um raio de 7 km ao redor da reserva. O levantamento do uso e ocupação do solo foi realizado com dados do MapBiomas, integrados ao Google Earth Engine, permitindo identificar as classes de uso da terra. Os resultados apresentaram que 60,35% da área é agropecuária, 39,06% de vegetação nativa, 0,39% de corpos d'água e 0,20% de áreas não vegetadas. No interior da reserva foi observado que 216

hectares (4,84%) está ocupado por pastagens o que contraria a lei de Unidades de Conservação. A análise espacial no QGIS identificou aproximadamente 50 fragmentos florestais, onde a grande maioria (60%) apresenta tamanhos abaixo de 50 hectares, desses remanescentes, é importante ressaltar as proximidades entre eles e à reserva, o que oferece um potencial para a criação de corredores ecológicos diminuindo os efeitos de isolamento principalmente nos menores fragmentos florestais.

**Palavras-chave:** Geotecnologias. Fragmentos florestais. Vegetação nativa. Google earth engine. Análise espacial.

#### ABSTRACT

Deforestation in Brazil has caused severe impacts on vegetation cover and biodiversity, particularly affecting ecosystems like the Atlantic Forest and Caatinga. In 2023, the country lost over 90 million hectares of native vegetation, exacerbating habitat fragmentation and disrupting critical ecological processes such as the hydrological cycle and

biodiversity conservation. This study aimed to analyze land use and land cover patterns in the Pedra Talhada Biological Reserve (a protected area spanning Alagoas and Pernambuco states) and its buffer zone. The study area was delineated using Google Earth Pro, with a 7-km radius around the reserve. Land use classification was performed using MapBiomas data integrated with Google Earth Engine, identifying key land cover classes. Results revealed that 60.35% agricultural/pasture land, 39.06% native vegetation, 0.39% water bodies and 0.20% non-vegetated areas. Notably, 216

hectares (4.84%) within the reserve were occupied by pasturelands, violating Brazilian protected area regulations. Spatial analysis in QGIS identified ~50 forest fragments, with 60% being smaller than 50 hectares. The proximity of these fragments to each other and the reserve suggests potential for ecological corridor implementation to mitigate isolation effects, particularly for smaller remnants.

**Keywords:** Keywords: Geotechnologies. Forest fragments. Native vegetation. Google Earth Engine. Spatial analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso e a cobertura do solo representam variáveis centrais na análise das transformações ambientais, sendo fortemente influenciados por ações antrópicas como a agricultura, a pecuária, a urbanização e, principalmente, o desmatamento. Essas alterações modificam profundamente a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas naturais, afetando diretamente a biodiversidade, o ciclo hidrológico e o clima (Santos et al., 2022).

O desmatamento no Brasil é um fenômeno complexo, com múltiplos fatores que incluem a expansão da fronteira agrícola, a criação de pastagens, o plantio de monoculturas como soja e cana-de-açúcar, e a exploração madeireira ilegal. Em regiões como a Floresta Atlântica, a pressão sobre a terra para atividades agrícolas é intensificada pela crescente demanda por recursos naturais e pelo crescimento da população rural e urbana.

Em 2023, o Brasil registrou perdas significativas de vegetação nativa nos biomas Caatinga e Mata Atlântica, conforme indicado pelo Relatório Anual de Desmatamento (RAD 2023) do MapBiomas Alerta. No bioma Caatinga, foram suprimidos 201.687 hectares de vegetação nativa, enquanto no bioma Mata Atlântica a perda foi de 12.084 hectares (MAPBIOMAS, 2024). Esse quadro resulta em impactos severos, como o aumento da fragmentação florestal, perda de habitats, emissão de gases de efeito estufa e alterações no microclima regional (Santos et al., 2022).

A fragmentação do habitat e o isolamento de remanescentes florestais dificultam a movimentação de espécies e a dispersão genética, comprometendo a resiliência dos ecossistemas. Nesse contexto, o conceito de conectividade ecológica assume papel estratégico na conservação da biodiversidade, sendo compreendido como a capacidade da paisagem de permitir o fluxo de organismos, energia e matéria entre diferentes fragmentos

de habitat (Bennett, 2003). Para a análise da paisagem e percepção da conectividade ecológica o uso de geotecnologias assume papel crucial e de extrema importância.

O Sensoriamento Remoto, tem sido amplamente utilizado para a análise multi-temporal de imagens de satélite, permitindo a observação das dinâmicas de cobertura do solo ao longo do tempo, facilitando a detecção de mudanças na vegetação e no uso do solo. Essa técnica oferece uma vantagem crucial, pois, além de possibilitar a coleta de dados em larga escala, abrange áreas de difícil acesso e com um custo significativamente menor em relação aos métodos tradicionais de levantamento de campo (Souza; Cunha, 2023).

Nesse sentido, a ciência da conservação tem incorporado avanços tecnológicos no monitoramento ambiental e na gestão de unidades de conservação. O uso de geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o Geoprocessamento, tem permitido análises mais precisas e eficientes sobre o uso e a cobertura do solo, a dinâmica da paisagem e a conectividade entre remanescentes florestais. Essas ferramentas facilitam a identificação de corredores ecológicos, a definição de áreas prioritárias para conservação e restauração, e a avaliação de pressões antrópicas sobre os ecossistemas (Dutra et al., 2020; Souza; Cunha, 2023).

Dentro deste contexto, as unidades de conservação exercem papel fundamental na proteção dos remanescentes naturais. A Reserva Biológica de Pedra Talhada, situada entre os estados de Alagoas e Pernambuco, representa um exemplo emblemático da importância da conservação em áreas de elevado valor ecológico. Criada em 1989, a reserva possui cerca de 4.469 hectares e está inserida em uma região de transição entre Floresta Atlântica e Caatinga, o que lhe confere elevada biodiversidade (ICMBIO, 2023).

O entorno da Reserva de Pedra Talhada, no entanto, sofre com diversas pressões, como a expansão da agricultura e da pecuária, a extração de madeira e o avanço da urbanização, o que compromete a integridade dos ecossistemas locais. Tais atividades promovem a fragmentação da vegetação, a compactação e erosão do solo, e a redução da conectividade ecológica. O Plano de Manejo da unidade revela que, apesar dos esforços de conservação, ainda há áreas degradadas e de uso indevido do solo que requerem ações corretivas e preventivas (ICMBIO, 2023).

Neste contexto o presente trabalho tem como objetivo analisar os diversos usos e a ocupação do solo presente na Unidade de Conservação Reserva Biológica de Pedra Talhada,

situada entre os estados de Alagoas e Pernambuco, e em sua área de entorno, com um raio de sete quilômetros ao redor da reserva.

## 2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Reserva Biológica de Pedra Talhada, situada na divisa entre os estados de Alagoas e Pernambuco (Figura 1), nos municípios de Quebrângulo (AL), Lagoa do Ouro (PE) e Correntes (PE), está inserida em uma região de transição entre Floresta Atlântica e Caatinga, com uma área oficial de 4.382,3 ha, destacando-se por sua elevada biodiversidade e importância para a conservação de espécies ameaçadas. A maior parte da área da Reserva, cerca de 60%, está inserida no município de Quebrângulo.

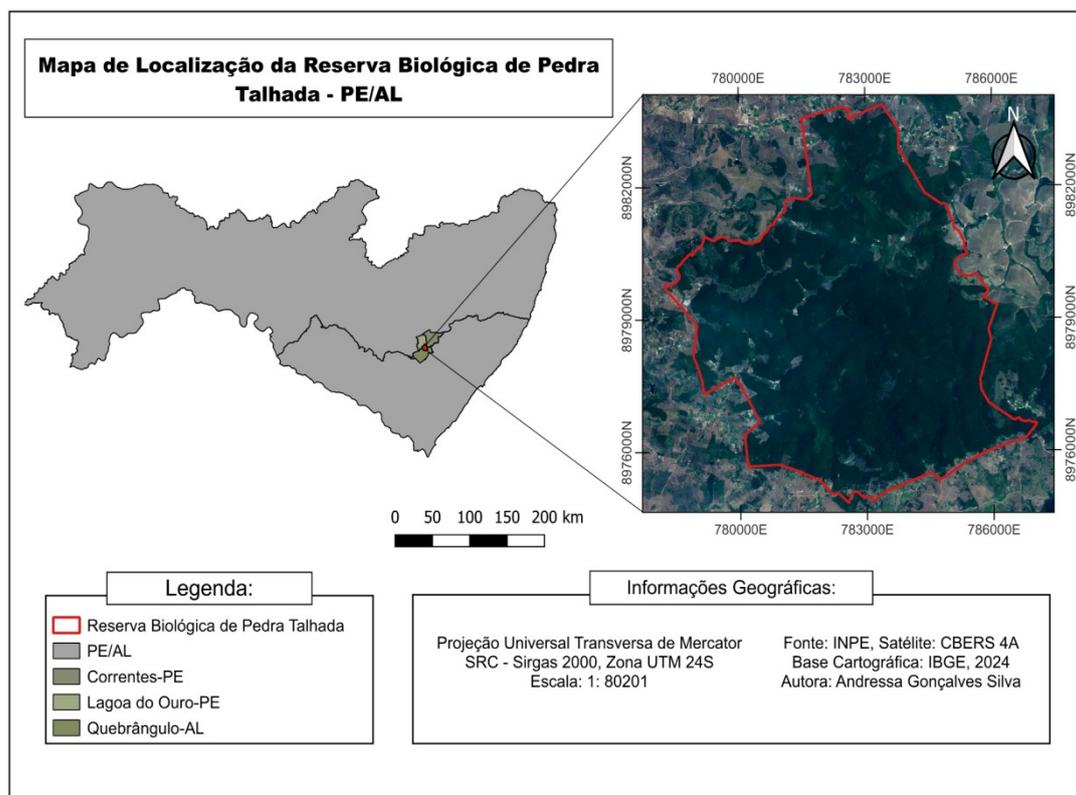
Com precipitações pluviométricas em torno de 50 a 1.800 mm em épocas normais e temperaturas de 20°C a 24°C bem mas elevada que as regiões circundantes. O relevo apresenta-se acidentado, variando a altitude entre 459m e 883m (BARBOSA, 2022).

Os principais tipos de solo da região de Quebrangulo são podzólicos vermelho-amarelo equivalentes eutróficos, podzólicos vermelho-amarelo e planossolos. O município de Lagoa do Ouro, por sua vez, apresenta solos podzólicos vermelho amarelo, planossolos, regossolos e solos litólicos (TSCHARNER, et al., 2015).

A metodologia adotada neste estudo se destaca pelo uso de ferramentas geotecnológicas modernas, que possibilitaram uma abordagem detalhada e precisa da paisagem e dos ecossistemas presentes na Reserva Biológica de Pedra Talhada e seu entorno. A aplicação dessas tecnologias garantiu maior eficiência na coleta e análise dos dados, permitindo uma interpretação abrangente e confiável das condições ambientais da área.

Nesta primeira etapa, foi realizada a delimitação da área de estudo, contemplando não apenas os limites oficiais da reserva, mas também sua zona de entorno, considerando um raio de 7 km. Esse processo foi conduzido por meio do Google Earth Pro, uma ferramenta amplamente reconhecida por sua capacidade de fornecer imagens de satélite de alta qualidade, facilitando um mapeamento preliminar preciso da região.

Figura 1: Mapa de Localização da Reserva Biológica de Pedra Talhada.



Fonte: Autora, 2025

Para um levantamento aprofundado do uso e ocupação do solo, recorreu-se ao Mappiomas, uma plataforma colaborativa de referência nacional na análise da dinâmica de cobertura da terra. A integração desses dados com o Google Earth Engine, uma tecnologia de computação em nuvem altamente eficiente, permitiu o processamento rápido e detalhado de informações espaciais, tornando possível a identificação das principais classes de uso da terra.

Essa abordagem viabilizou não apenas uma compreensão atualizada da paisagem, mas também uma análise comparativa com períodos anteriores, fornecendo uma base sólida para futuras estratégias de manejo ambiental.

Além disso, o uso do QGIS (Quantum GIS), um dos principais softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, trouxe precisão e flexibilidade às análises espaciais. Com essa ferramenta, foi possível produzir mapas temáticos detalhados, integrar diversas camadas geoespaciais e gerar estatísticas avançadas, consolidando um diagnóstico ambiental robusto e embasado em evidências científicas.

Neste contexto, com o uso dessas ferramentas foi possível verificar não apenas o uso e ocupação do solo nas áreas da reserva e entorno como também realizar a quantificação de fragmentos florestais nessa região e com isso verificar a resiliência da paisagem quanto a

possibilidade de incorporação de corredores ecológicos a reserva biológica como forma de ganho em biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

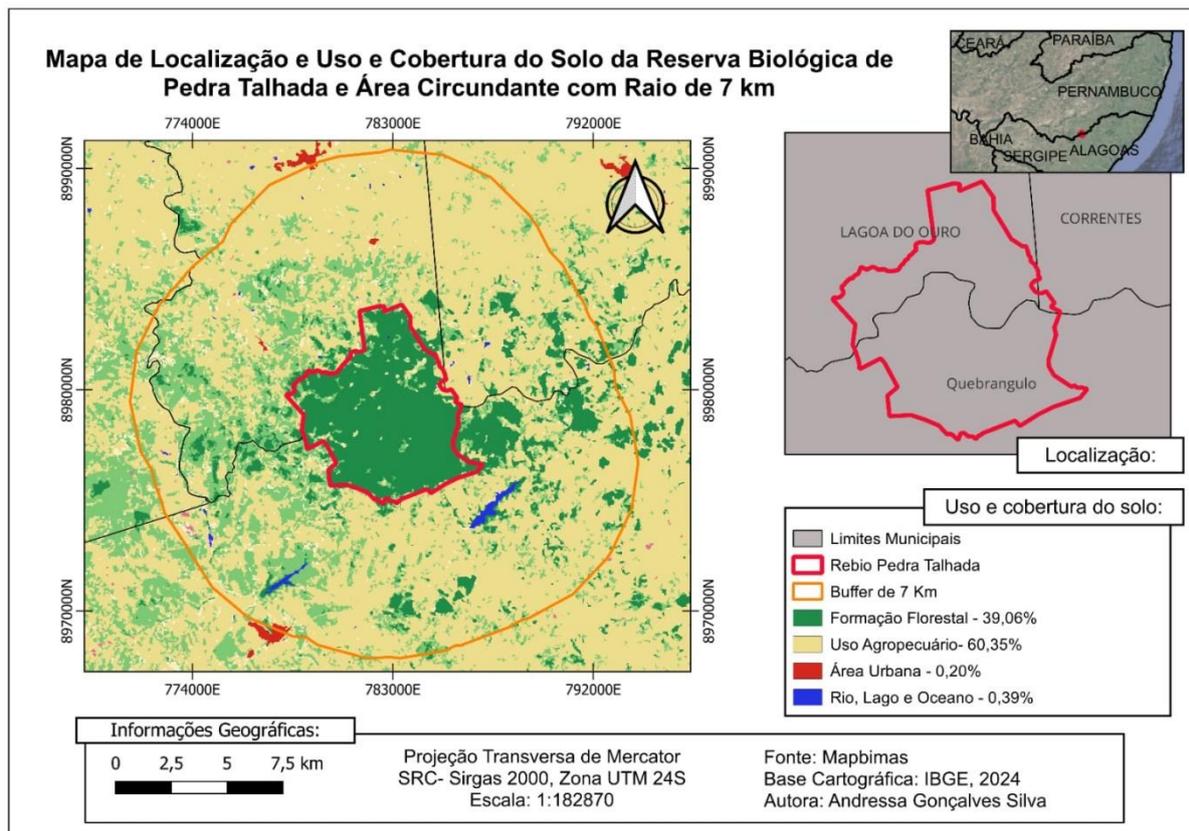
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas análises realizadas na Reserva Biológica de Pedra Talhada e seu entorno, os resultados evidenciam um cenário de significativa fragmentação florestal, com predominância de áreas destinadas à agropecuária e presença de fragmentos florestais de variados tamanhos. Esses achados corroboram com a literatura científica, que destaca a importância da conectividade ecológica e os impactos da fragmentação sobre a biodiversidade.

A análise espacial contemplou uma área de 39.078 ha. No total, aproximadamente 60,35% da área é ocupada por atividades agrícolas, enquanto 39,06% corresponde a áreas de floresta (Figura 2). Fato preocupante é que, no interior da reserva, foi evidenciado o tipo de uso por pastagem em 216 ha (4,84%), o que pode comprometer a biodiversidade e serviços ecossistêmicos na região. Importante destacar que as reservas biológicas, segundo a Lei 9.985/2000, são consideradas uma área natural instituída pelo poder público com o objetivo de preservação integral de todos os seres vivos daquele ambiente (biota) e demais atributos naturais, onde não é permitida interferência humana direta ou modificações ambientais. Essa categoria de Unidade de Conservação, assim como a Estação Ecológica, figura entre as mais restritivas às atividades dos seres humanos.

Desta forma, o tipo de uso encontrado não corresponde ao que pode estar inserido dentro da reserva. A pastagem é uma atividade que pode ocasionar a compactação do solo e causar processos erosivos graves como o aparecimento de voçorocas. Solos compactados impedem o processo de infiltração e ocasionam o aumento do escoamento superficial que tende a lixiviar esse solo degradado e ocasionar o assoreamento de corpos d'água. Importante destacar que na reserva existem aproximadamente 170 nascentes que distribuem suas águas para as bacias hidrográficas do Rio Mundaú e do Rio Paraíba, mostrando sua grande importância no fornecimento de serviços hidrológicos para essas duas bacias e para os municípios que estão inseridos e que utilizam a água para o abastecimento das suas cidades.

Figura 2: Uso e cobertura do solo no entorno da Reserva Biológica de Pedra Talhada.



Fonte: Autora, 2025

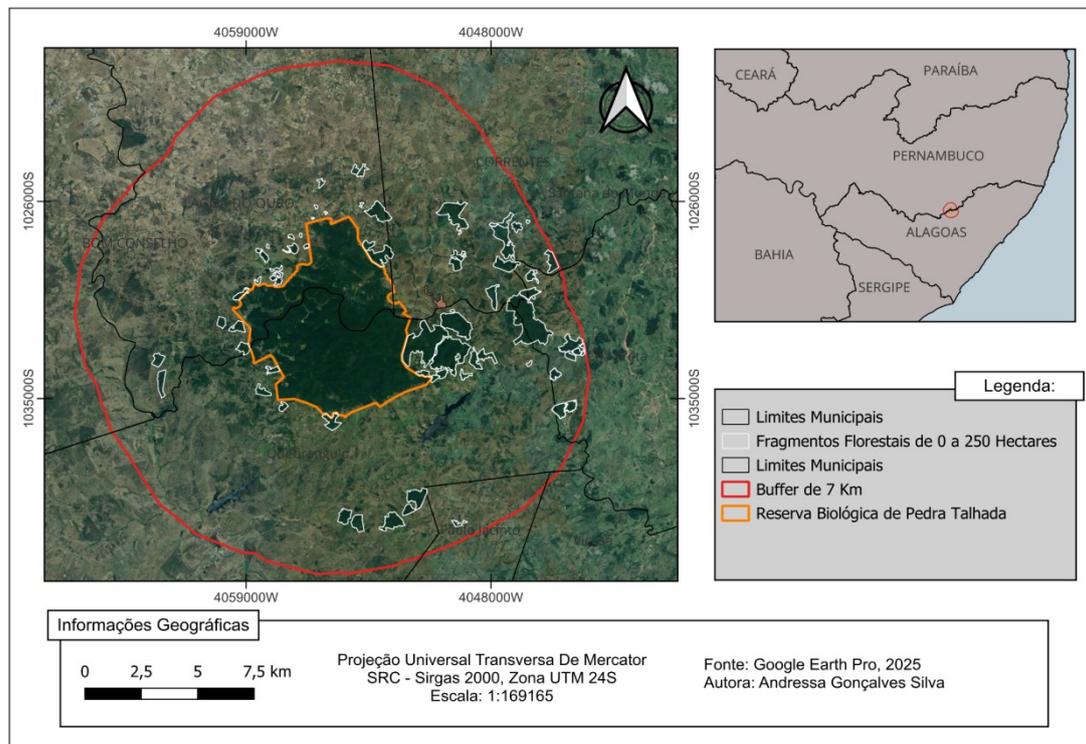
Quanto a análise dos fragmentos florestais, foram identificados 50 fragmentos florestais ao redor da reserva, com tamanhos variando entre 10 e 250 hectares (Tabela 1). Essa proximidade sugere um potencial para a formação de corredores ecológicos, essenciais para a manutenção da biodiversidade e o fluxo gênico entre populações isoladas (Figura 3).

Classes de Tamanho (ha)	Fragmentos Florestais (nº - %)
0 - 50	30 (60%)
50 - 100	12 (24%)
Acima de 100	8(16%)

Pela análise percebe que a maioria dos fragmentos florestais (60%) possui menos de 50 hectares, sendo considerados, por esse estudo, como pequenos. Apesar de sua importância quanto a conservação da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos além de possuir uma função de trampolim ecológico no trânsito de animais polinizadores e

dispersores, esses fragmentos, estão submetidos a maiores pressões antrópicas como o efeito de borda e o isolamento.

Figura 3: Mapa de fragmentos florestais encontrados em um raio de 7 km ao entorno da Reserva Biológica de Pedra Talhada.



Fonte: Autora, 2025

A fragmentação da floresta Atlântica tem sido amplamente documentada, com estudos indicando que a perda de habitat e o isolamento de fragmentos resultam em efeitos de borda, alterações microclimáticas e redução da diversidade de espécies (Santos et al., 2021). A presença de pequenos fragmentos próximos aos maiores e até mesmo a reserva sugere a possibilidade de introdução de corredores ecológicos com a finalidade de interação gênica de espécies tanto da flora quanto da fauna, diminuindo o isolamento e o efeito de borda e o aumento da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos importantes para a sociedade como o sequestro de carbono e o controle hidrológico (RBMA, 2025).

Outro ponto importante é o uso de geotecnologias, como o QGIS e o MapBiomias, que demonstrou ser eficaz na análise multitemporal do uso e cobertura do solo, permitindo a identificação de áreas prioritárias para conservação e restauração ecológica (Bruno, 2017). Essas ferramentas oferecem uma abordagem acessível e precisa para o monitoramento ambiental, especialmente em regiões de difícil acesso.

Desta forma, com o emprego dessas geotecnologias a localização para a formação de corredores ecológicos se torna uma estratégia na substituição, por exemplo, das áreas de pastagem dentro da reserva por áreas de restauração florestal promovendo a conectividade entre habitats e facilitando a movimentação de espécies (Lessa et al., 2024). A implementação de tais corredores pode ser feita também no entorno da Reserva Biológica de Pedra Talhada para conectar os trampolins ecológicos, neste caso os fragmentos menores de 50 hectares, contribuindo significativamente para a conservação da biodiversidade local e regional.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo realizado na Reserva Biológica de Pedra Talhada e em seu entorno permitiu uma análise abrangente da paisagem, da cobertura vegetal e da biodiversidade local, por meio de uma abordagem metodológica sólida e respaldada em tecnologias geoespaciais de última geração. A integração de ferramentas como Google Earth Pro, Mapbiomas, Google Earth Engine e QGIS foi essencial para a delimitação precisa da área de estudo e para a geração de informações detalhadas sobre o uso e ocupação do solo, destacando o grau de fragmentação da vegetação e os desafios para a conservação da biodiversidade na região.

Nesse contexto, este estudo contribuiu significativamente ao demonstrar o potencial da região para o desenvolvimento de corredores ecológicos, capazes de conectar fragmentos florestais e minimizar os impactos do isolamento ecológico. Corredores dessa natureza são essenciais não apenas para a conservação da flora e fauna locais, mas também para a manutenção de processos ecológicos fundamentais, como a dispersão de sementes, o fluxo gênico e o deslocamento da fauna.

Os resultados obtidos neste trabalho não apenas aprofundam o conhecimento sobre a área de estudo, como também oferecem subsídios técnicos valiosos para a formulação de ações voltadas à preservação, recuperação e uso sustentável da paisagem, reforçando a necessidade de estratégias de conservação que considerem a conectividade ecológica e a restauração de áreas degradadas.

Além disso, a integração de ferramentas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica se mostra fundamental para o planejamento e a implementação de ações eficazes na conservação da biodiversidade.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. A. O processo de desmatamento na reserva biológica de Pedra Talhada no município de Lagoa de Outro, **Revista Geoconexões Online**, v.2, n.2, p. 56-71, 2022.
- BENNETT, A. F. **Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation**. 2. ed. Gland: IUCN, 2003.
- BRANDÃO, C. F. L. S.; VIEIRA, A. C. S.; FARIAS, D. S.; SILVA, L. G.; GONZAGA, E. P.; DALLA LANA, M.; COLA, R. E.; NOBRE, S. C. M. Análise do componente arbóreo adulto e regenerante e da serapilheira em um remanescente de Floresta Atlântica em Rio Largo, Alagoas. In: **Pesquisas florestais em foco**. LEITE, M. J. H.; PINTO, A. V. F.; BRANDÃO, C. F. L. S.; DALLA LANA, M.(orgs.), Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2020. 105p.
- BRASIL. **MapBiomas - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 7 maio 2025.
- BRUNO, M. A. **Aplicação do QGIS no planejamento ambiental: potencialidades e limitações**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 2, p. 305–319, 2017.
- DUTRA, D. J.; BRIANEZI, D.; COELHO, C. W. G. A. **Uso de geotecnologias para análise da dinâmica da vegetação da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, MG**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 43, n. 4, p. 283–292, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/37339>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo da Reserva Biológica de Pedra Talhada**. Brasília: ICMBio, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- LESSA, C. C.; OLIVEIRA, M. A. de; FRAGA, C. N. **Corredores ecológicos como estratégia de conservação da biodiversidade no bioma Mata Atlântica**. *Revista Caminhos de Geografia*, v. 25, n. 97, p. 125–140, 2024. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/29203>. Acesso em: 7 maio 2025.
- MAPBIOMAS. **Em 2023, a perda de áreas naturais no Brasil atinge a marca histórica de 33% do território**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- SANTOS, J. P.; ALMEIDA, R. M.; FERREIRA, J. P. **Fragmentação florestal e seus impactos na biodiversidade da Mata Atlântica**. *Revista Geografia em Atos*, v. 13, n. 1, p. 88–102, 2021. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/geografiaematos/article/view/7362>. Acesso em: 7 maio 2025.
- SANTOS, R. T. dos; LIMA, F. A.; PEREIRA, M. S. **Desmatamento e fragmentação na Amazônia: impactos e desafios para a conservação**. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto

Alegre, v. 19, n. 4, p. 112–130, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 26 abr. 2025.

SOUZA, C. C.; CUNHA, M. C. **O uso das geotecnologias como ferramenta de auxílio na análise ambiental no município de Jataí, Goiás.** *Geoambiente On-line*, v. 38, p. 1–15, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/63586>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SOUZA, L. F.; CUNHA, R. R. **O uso do sensoriamento remoto na análise multitemporal do uso e cobertura da terra.** *Revista Brasileira de Geomática*, v. 11, n. 2, p. 45–61, 2023.

TSCHARNER, T.; Duda, G. P.; Oliveira, V. P.; Silva, C. M. S.; Nusbaumer, L.; Silva Filho, A. F., 2015. Parâmetros Abióticos. In: Studer, A.; Nusbaumer, L.; Spichiger, R. (Eds.) **Biodiversidade da Reserva Biológica de Pedra Talhada. Alagoas / Pernambuco. Brasil.** v. único, p. 39 a 59, 2015.

# CAPÍTULO II

## REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS (RPAS) E PLANTAS ESPONTÂNEAS: UMA ABORDAGEM NO CONTEXTO DA CIÊNCIA FLORESTAL E AGRÍCOLA

### REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS (RPAS) AND SPONTANEOUS PLANTS: AN APPROACH IN THE CONTEXT OF FORESTRY AND AGRICULTURAL SCIENCE

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-2

Pablo Fernandes<sup>1</sup>  
Rudiney Soares Pereira<sup>2</sup>  
Roberta Aparecida Fantinel<sup>3</sup>  
Sally Deborah Pereira da Silva<sup>4</sup>  
Álison Pacheco Sperandei<sup>5</sup>  
Fernando Coelho Eugenio<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

<sup>3</sup> Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>4</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

<sup>5</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

<sup>6</sup> Professor Adjunto do Departamento de Agronomia. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

## RESUMO

Produtos obtidos via *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) vêm ganhando espaço no contexto agrícola e florestal na última década em relação à vasta amplitude de aplicações e das significativas contribuições para a caracterização e modelagem de atributos espaciais. O objetivo desse estudo foi realizar uma revisão sistemática no que diz respeito as pesquisas desenvolvidas com RPAS para o mapeamento das plantas espontâneas em áreas florestais e agrícolas. Obteve-se 72 artigos científicos das plataformas *Web of Science* e *Scopus*, sendo identificados os locais de origem das publicações, alvos de estudo (espécies agrícola e florestal), plataforma, sensores, altura de voo, *software* e algoritmo. A maioria dos trabalhos foram publicados na Europa e Ásia, sendo a cultura agrícola *Zea mays* a espécie com maior número de pesquisas envolvendo RPAS e plantas espontâneas, enquanto na área florestal apenas uma espécie foi identificada o *Pinus radiata*. Plataformas multirrotor têm sido mais utilizadas em comparação as plataformas de asa fixa, os sensores multiespectrais e *Red*, *Green* e *Blue* totalizaram 40,27% cada um. Os *softwares* mais utilizados para o processamento das

imagens foram: *Matlab* e *eCognations Developer* e os algoritmos foram *Convolutional Neural Network* (CNN) e Imagem Baseada em Objeto (OBIA). Dessa forma, é notório que o uso de RPAS no monitoramento agroflorestal têm se mostrado uma ferramenta eficaz, uma vez que, auxilia na detecção e monitoramento das variáveis complexas relacionadas à dinâmica da floresta e ao ambiente agrícola em muitas regiões.

**Palavras-chave:** Aprendizado de máquina. Algoritmos. Plataformas. Sensores.

## ABSTRACT

Products obtained via *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) have been gaining ground in the agricultural and forestry context in the last decade in relation to the vast range of applications and significant contributions to the characterization and modeling of spatial attributes. The objective of this study was to conduct a systematic review of research developed with RPAS for mapping spontaneous plants in forest and agricultural areas. Seventy-two scientific articles were obtained from the *Web of Science* and *Scopus* platforms,



identifying the places of origin of the publications, study targets (agricultural and forest species), platform, sensors, flight height, software and algorithm. Most of the works were published in Europe and Asia, with the agricultural crop *Zea mays* being the species with the largest number of studies involving RPAS and spontaneous plants, while in the forest area only one species was identified, *Pinus radiata*. Multicopter platforms have been more widely used compared to fixed wing platforms, with multispectral and e Red, Green and Blue sensors accounting for 40.27% each. The most commonly used software for image processing in the articles were Matlab and eCognations

Developer. Regarding the algorithms used in the publications, the Convolutional Neural Network (CNN) and Object-Based Imaging (OBIA) stood out. Thus, it is clear that the use of RPAS in agroforestry monitoring has proven to be an effective tool, offering high resolution and speed in obtaining accurate data, in addition to being a powerful tool for evaluating, detecting and monitoring complex variables related to forest dynamics and the agricultural environment in many regions.

**Keywords:** Machine learning. Algorithms. Platforms. Sensors.

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo de plantas espontâneas (PE) no sistema de produção agrícola e florestal é essencial para que não ocorram perdas no potencial produtivo em cada cultura. No setor florestal, em especial na produção de eucalipto, as plantas daninhas invasoras podem interferir diretamente na produtividade por meio de competição por água, luz, nutrientes, espaço, bem como podem ocasionar alelopatia entre as plantas, hospedagem de pragas, doenças, riscos de incêndio, entre outros fatores que afetam diretamente a produção (Souza, Costa e Salgado, 2010).

Em decorrência das perdas em produtividade impostas pela presença de PE, surge a necessidade de controle e, principalmente, a necessidade de gerenciar e mapear a presença dessas plantas, e da mesma forma a produção e eventuais perdas nas culturas. A agricultura e a floresta de precisão tornaram-se uma ferramenta importante para o manejo eficiente do sistema de produção, permitindo uma intervenção técnica a campo de forma localizada e precisa.

A partir do desenvolvimento da agricultura e floresta de precisão no mundo, foram implementadas novas tecnologias a fim de mapear a variabilidade espacial dos plantios. Nesse sentido, a rápida detecção de PE é, portanto, uma das principais formas para minimizar os prejuízos no setor agroflorestal. Uma das ferramentas mais inovadoras para detecção precoce é a utilização dos *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) para a coleta de informações de forma eficiente e ágil. Os RPAS podem cobrir uma grande área em um curto espaço de tempo, enquanto fornecem alta resolução temporal que permite capturar imagens a qualquer momento durante o desenvolvimento da cultura, detectando pequenos objetos, como plantas daninhas (Rasmussen *et al.*, 2019).

Os principais métodos de discriminação aplicados às imagens capturadas por RPAS são baseados em inteligência artificial (IA), na qual está relacionada principalmente com a utilização de técnicas de aprendizado de máquina (AM) e ferramentas de classificação. Novas abordagens de IA combinando redes neurais e lógica *Fuzzy* para o reconhecimento de padrões na classificação de imagens, surgem como uma alternativa oportuna, viável e inovadora (Giacco *et al.*, 2010). Essas técnicas possibilitam a mineração de grandes volumes de dados proveniente do sensoriamento remoto utilizando RPAS (Ma *et al.*, 2015; Najafabadi *et al.*, 2015; Schmidhuber, 2015).

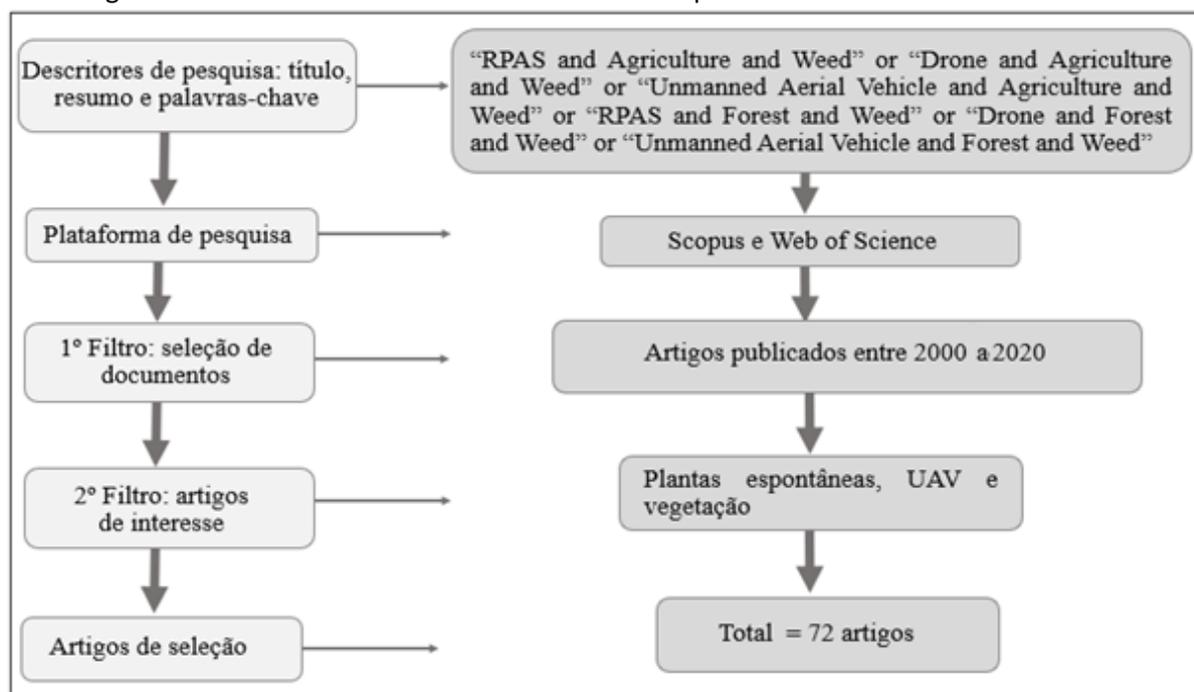
Dessa forma, *softwares* e algoritmos que possam interligar o mapeamento e a tomada de ação é essencial para inovar e trazer agilidade à produção florestal e agrícola, fazendo-se necessário determinar indicadores da dinâmica e evolução das informações científicas e tecnológicas a respeito desses temas. Para tanto, o estudo bibliométrico voltado à identificação da relação entre as imagens obtidas por RPAS e a presença de PE em áreas florestais e agrícolas trará informações essenciais para os próximos avanços no setor. Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo realizar uma revisão bibliométrica para a última década sobre pesquisas desenvolvidas com RPAS para o mapeamento das PE em áreas florestais e agrícolas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. COLETA DOS DADOS

Esta pesquisa foi estruturada com base na revisão de publicações científicas no campo de RPAS para mapear plantas espontâneas presentes em culturas florestais e agrícolas. A pesquisa bibliográfica foi realizada em 12 de janeiro de 2021 nas plataformas de informação científica *Web of Science (WoS)*, produto da Thomson Reuters, e *Scopus*, da Elsevier. Considerou-se apenas artigos com *Digital Object Identifier System (DOI)* e conferências, publicados em inglês em todo o mundo. O período da pesquisa compreendeu o ano de 2000 a 2020, sendo considerados os descritores em títulos, palavras-chave e resumos (Figura 1).

Figura 1 – Procedimentos e critérios estabelecidos para executar a análise bibliométrica



Fonte: Autoria própria.

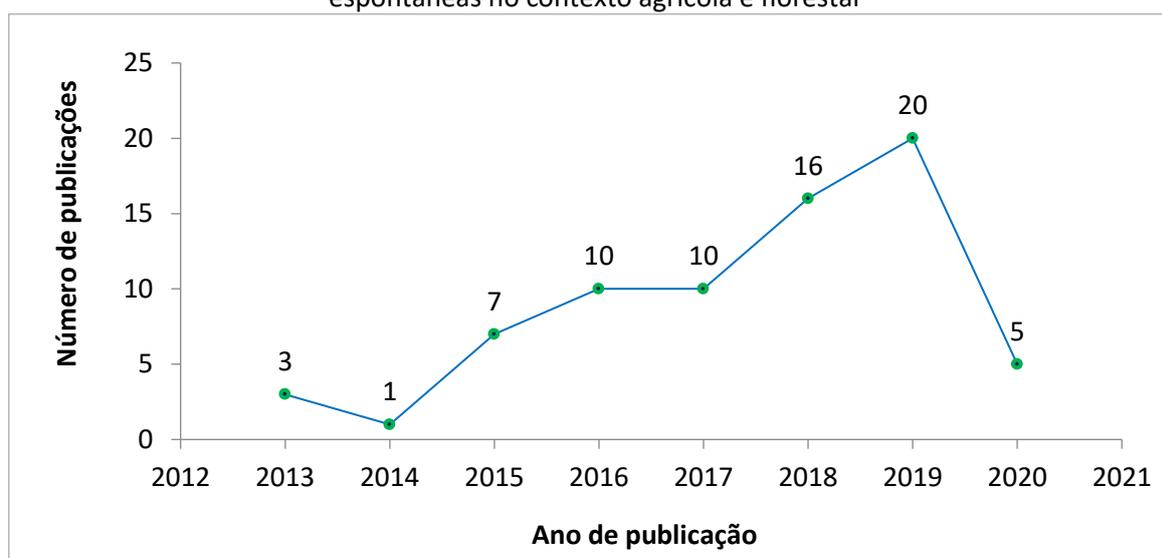
As variáveis analisadas foram: ano de publicação, país, alvos de estudo (espécies agrícola e florestal), plataforma, sensores, *software* e algoritmo. Para análise e quantificação, os dados foram tabulados em planilha do *Microsoft Excel*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. NÚMERO E DISTRIBUIÇÃO GLOBAL DAS PUBLICAÇÕES

Observa-se uma tendência crescente de publicações relacionadas a pesquisas com RPAS aplicado as plantas espontâneas presentes em culturas florestais e agrícolas a partir do ano de 2013 (Figura 2). O aumento acentuado em número de publicações pode ser observado principalmente entre os anos de 2018 e 2019. No entanto, no ano seguinte, ocorre um declínio nas publicações, esse fato permite ao leitor inferir que o interesse em realizar investigações nessa linha diminuiu ao longo de 2020, principalmente sob a influência global da humanidade em relação a presença do vírus SARS-CoV-2 (COVID 19) e suas restrições impostas.

Figura 1 - Frequência das publicações ao longo do tempo relacionadas à temática RPAS e plantas espontâneas no contexto agrícola e florestal



Fonte: Autoria própria.

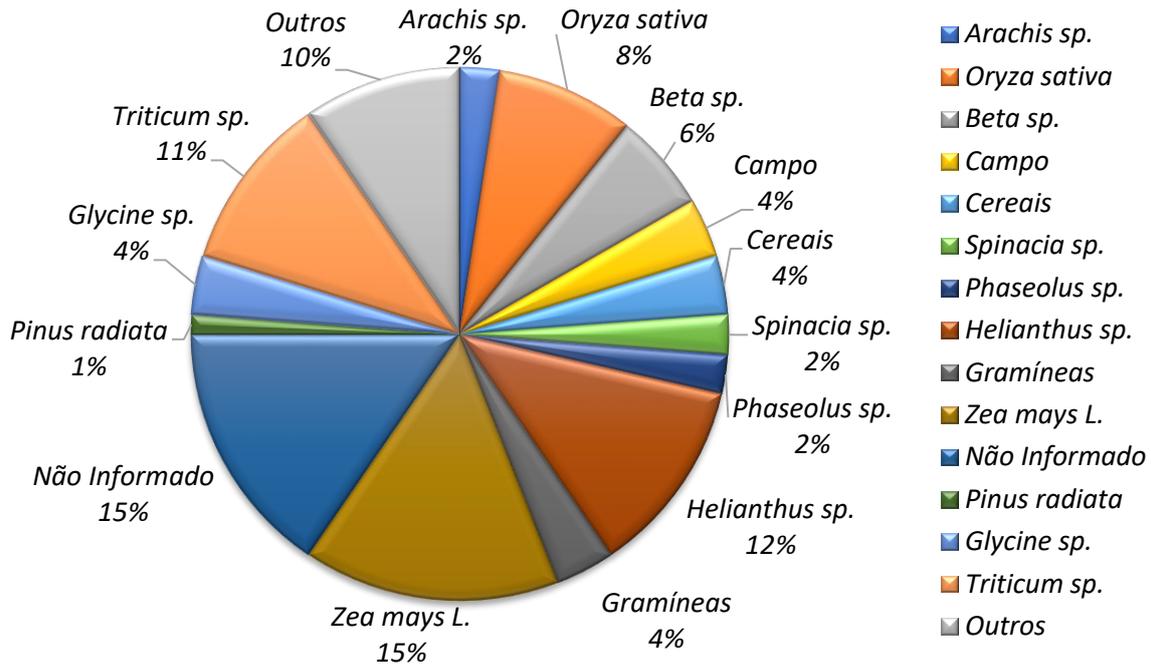
Espera-se que a tendência de aumento de publicações retorne no ano de 2021, visto que o uso de plataformas RPAS e acesso a *softwares* tem se intensificado positivamente ao longo do tempo, tornando-se cada vez mais difundido no âmbito agrícola e florestal. A partir de indicadores gerados pela pesquisa bibliométrica realizada, foi possível identificar a origem das publicações referentes ao uso de RPAS em culturas agrícolas e florestais.

O continente europeu deteve o maior número de artigos (28), seguido pela Ásia com sete, já o terceiro continente em número de publicações é a América do Norte, com cinco. Os países da Europa destacam-se quando comparados aos demais, indicando que estes promovem maior número de pesquisas com o uso dessas tecnologias, demonstrando também um maior interesse na área. Corroborando com os estudos de Eugenio *et al.* (2020), no qual foi observado uma tendência maior na quantidade de publicações na Europa.

### 3.2. CULTURAS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS CITADAS NAS PUBLICAÇÕES

O conjunto de publicações analisadas na revisão bibliométrica permitiu identificar quais culturas agrícolas e florestais possuem maior abordagem quanto ao uso de RPAS, conforme as informações contidas na Figura 3.

Figura 3 - Proporção de publicações quanto às culturas florestais e agrícolas



Fonte: Autoria própria.

Entre as espécies agrícolas estudadas nos artigos observados, o *Zea mays L.* (milho) é a espécie com maior número de pesquisas envolvendo RPAS e plantas espontâneas (13 publicações). Louargant *et al.* (2017) comprovaram o potencial de uso de RPAS para discriminar vegetação-solo e cultura-plantas espontâneas em linhas de cultivo de milho. Da mesma forma, Wang *et al.* (2019) apresentam um método de detecção da densidade de plantas espontâneas, aliando imagens adquiridas por RPAS ao uso de algoritmo e aprendizado profundo, para a classificação de plantas espontâneas em áreas de cultivo de milho, assegurando um controle preciso dessas plantas.

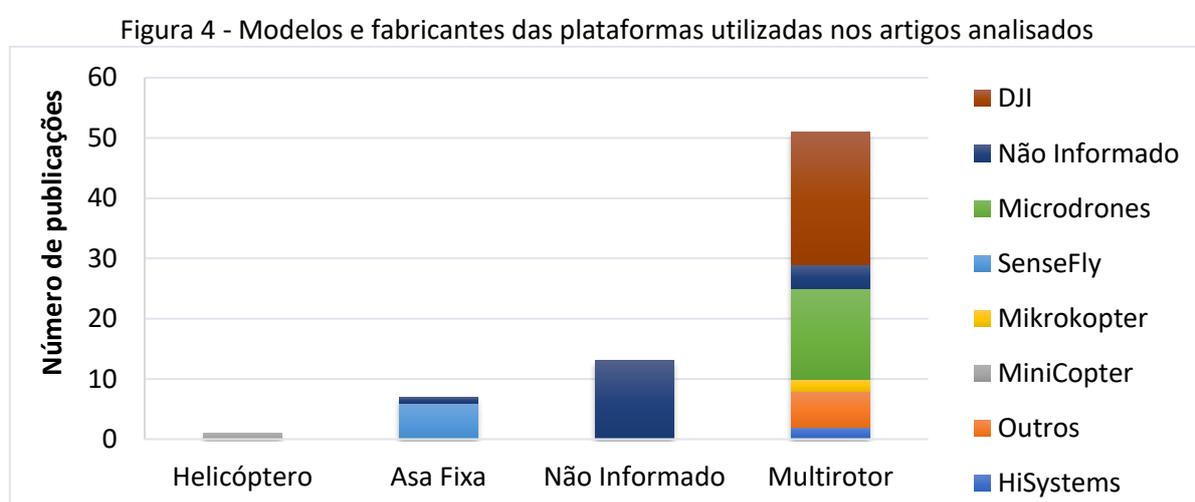
Na sequência das culturas com maior número de publicações, encontra-se a cultura do *Helianthus sp.* (girassol) que apresentou 10 publicações, valor próximo ao da espécie *Triticum sp.* (trigo) que possui nove artigos publicados. Ao observarem um plantio de girassol em estágio inicial com uma infestação de plantas espontâneas Torres-Sánchez *et al.* (2013) obtiveram resultados promissores com o uso de uma plataforma *quadcopter* com uma câmera multiespectral, demonstrando a capacidade das RPAS no manejo das safras de girassol, bem como em culturas semelhantes. López-Granados *et al.* (2015) que, além de apresentarem excelentes resultados quanto a distinção entre plantas de girassol, plantas espontâneas e solo nu, demonstraram a aplicabilidade dos RPAS em definir as operações de manejo da cultura do girassol, pois possibilita calcular as necessidades corretas de herbicida para cada situação,

incidindo em economia com herbicidas. Assim, os resultados relatados pelos diferentes estudos, motivam o uso de mapas de plantas espontâneas para projetar estratégias de controle dessas plantas.

No que diz respeito às espécies florestais, observou-se apenas uma publicação, onde *Pearse et al. (2020)* desenvolveram e validaram métodos para mapear mudas de coníferas (*Pinus radiata* (D. Don)) em imagem RGB de alta resolução. Embora a detecção de plantas espontâneas usando RPAS tenha avançado no setor agrícola, poucas pesquisas ainda nesse âmbito são exploradas em ambientes florestais.

### 3.3. PLATAFORMAS E SENSORES

De acordo com a Figura 4 a plataforma de RPAS mais utilizada foi a do tipo multirrotor representado por 70,8% dos artigos analisados, quanto aos RPAS de asa fixa totalizaram 9,7% e 25% das pesquisas não informaram o tipo de plataforma utilizada. É interessante ressaltar que apenas um artigo fez uso da plataforma do tipo helicóptero (*Garcia-Ruiz, Wulfsohn, Rasmussen, 2015*) no qual os autores examinaram a discriminação de plantas de beterraba e plantas espontâneas no plantio, resultando em uma validação da identificação das distintas espécies a partir das imagens.

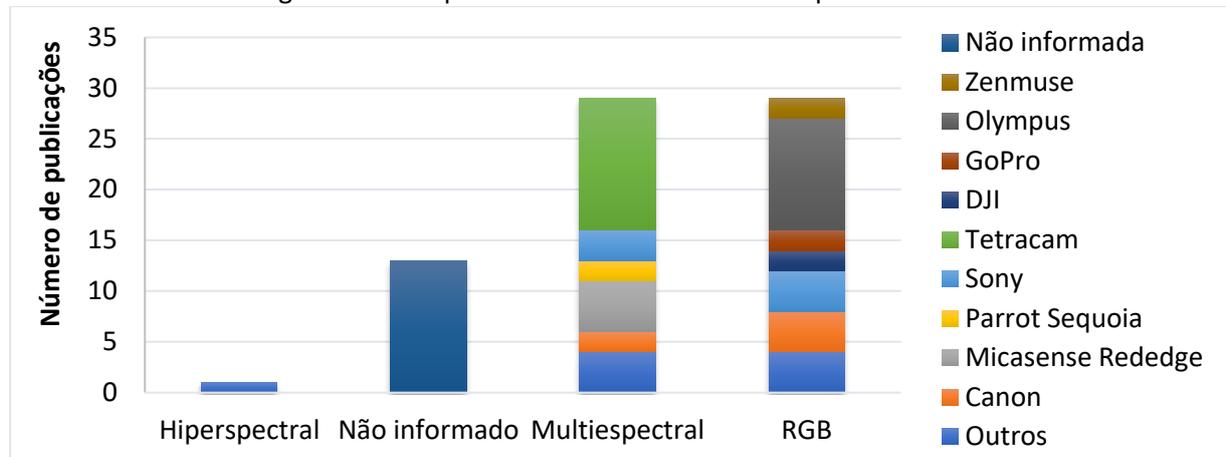


Fonte: Autoria própria.

Quanto aos fabricantes das plataformas utilizadas a DJI (*Dà-Jiang Innovations Science and Technology*) foi a predominante entre as pesquisas totalizando 30,55%. O fabricante Microdrone foi o segundo mais frequente (20,83%). Em contrapartida, 25% das pesquisas optaram por não informar os fabricantes das plataformas utilizadas. Em relação aos tipos de sensores acoplados aos RPAS (Figura 5) os multiespectrais e RGB representaram 40,27% cada

um, enquanto o hiperespectral apenas 1,38% dos trabalhos analisados, sendo o restante não informado pelos autores.

Figura 5 - Principais sensores e marcas usados pelos autores



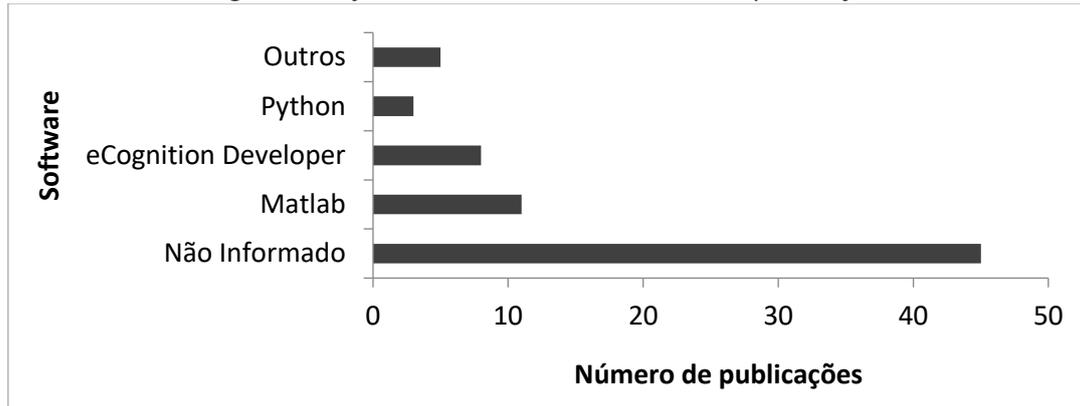
Fonte: Autoria própria.

As marcas que se sobressaíram às demais, citadas nas pesquisas que compõe a revisão bibliométrica, foram respectivamente *Tetracam* (13 artigos) e *Olympus* (11 artigos). A americana *Tetracam* oferece plataformas de câmeras padrão e personalizadas, as quais têm sido aplicadas em diferentes usos de imagens eletrônicas, englobando diversas áreas das ciências e até mesmo no ramo de segurança. As câmeras operam além da faixa de luz visível, como câmeras UV, câmeras NIR e câmeras térmicas. É importante salientar que nos artigos analisados os equipamentos da marca utilizados eram em sua totalidade sensores do tipo multiespectral (Tetracam, 2021). Entre as pesquisas que compõe a revisão bibliométrica, os sensores utilizados da marca *Olympus* operam na faixa espectral do visível. Mesas-Carrascosa *et al.* (2015) utilizaram câmeras *Tetracam* acoplada em RPAS para a detecção de solo nu e vegetação (trigo e ervas daninhas).

### 3.4. SOFTWARE

Os principais *softwares* utilizados nas publicações estão descritos na Figura 6, bem como, sua frequência de uso entre as pesquisas. O *software Matlab*, foi o mais utilizado (15,27%) no tratamento dos dados obtidos por RPAS em culturas agrícolas. Também há um destaque para o *software eCognations Developer*, o qual foi utilizado como ferramenta de processamento de dados em 11,11% dos trabalhos. Já a linguagem *Python* apresentou baixa frequência de uso entre os artigos que compõe esta pesquisa bibliométrica, estando presente em apenas um deles.

Figura 6 - *Softwares* mais difundidos entre as publicações

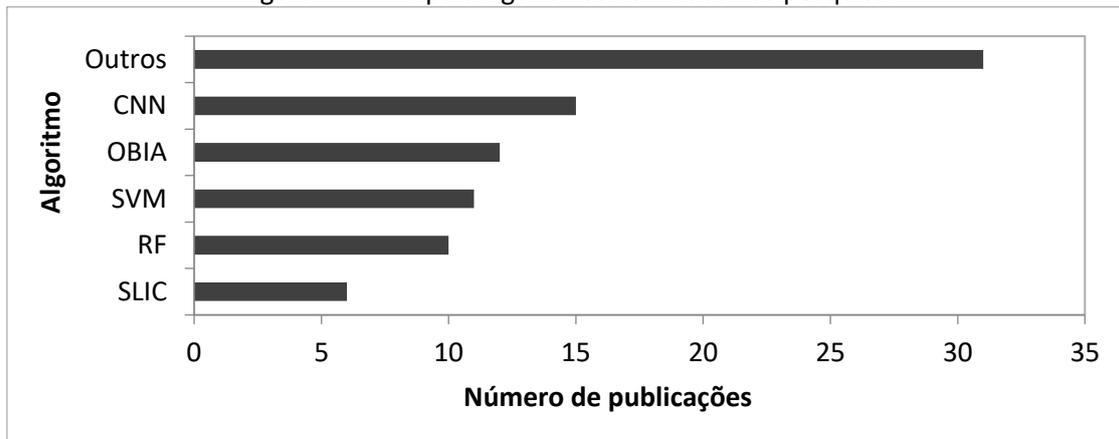


Fonte: Autoria própria.

### 3.5. ALGORITMOS

A distribuição de uso dos algoritmos de AM nestas publicações também pode ser verificada na Figura 7. O predomínio do algoritmo *Convolutional Neural Network* (CNN) fica bastante evidente, seguido de Imagem Baseada em Objeto (OBIA), *Support Vector Machine* (SVM), *Random Forest* (RF) e *Simple Linear Iterative Clustering* (SLIC).

Figura 7 - Principais algoritmos utilizados nas pesquisas



Fonte: Autoria própria.

#### 3.5.1. Convolutional Neural Network - CNN

Modelos baseados em CNN aplicados às imagens de alta resolução que os RPAS podem capturar podem superar outros métodos de detecção com custos de dados e complexidade mais baixos (Pearse *et al.*, 2020). Estudos realizados por Huang *et al.* (2018), no desempenho de diversas arquiteturas de *Deep Learning* para classificação em pixels de arroz e ervas daninhas, descobriram que a arquitetura de CNN superou outras arquiteturas analisadas, com precisão de 88% para o reconhecimento de plantas espontâneas. Pearse *et al.* (2020),

destacaram em seu estudo que modelos baseados em CNN podem ser ferramentas poderosas para o mapeamento de mudas de *Pinus radiata* usando imagens RGB.

### 3.5.2. Imagem Baseada em Objeto - OBIA

A análise de OBIA no campo do Sensoriamento Remoto, vem ganhando popularidade nos últimos anos, juntamente com as imagens de alta resolução. A OBIA tem sido usada no mapeamento de plantas espontâneas usando imagens RPAS. Nos estudos de López-Granados *et al.* (2015) a OBIA foi utilizada para a construção de mapas precisos, em combinação com diferentes fatores como altura de voo e tipos de sensores, permitindo o cálculo preciso das necessidades de herbicida para o manejo oportuno e específico de plantas espontâneas pós-emergência na cultura do girassol, contribuindo para a economia quanto à aplicação desses produtos no controle de plantas espontâneas. Nesse caso a OBIA classificou com 100 % de precisão a cultura do girassol nas diferentes alturas de voo (30 e 60m).

### 3.5.3. Support Vector Machine – SVM

Castaldi *et al.* (2016) fizeram uso de imagens oriundas de RPAS para criar mapas de plantas espontâneas presentes em uma cultura de milho, usando classificação supervisionada com base no algoritmo SVM, o que permitiu separar classes de treinamento definidas (solo, cultura e plantas espontâneas) usando uma superfície de decisão (hiperplano), que maximiza a margem entre as classes, os autores consideraram a precisão dos mapas de prescrição foi como satisfatória. Já David e Ballado (2016) desenvolveram uma metodologia para mapear automaticamente o uso do solo em uma fazenda de hortaliças com imagem aérea de altíssima resolução. Para tanto, os autores utilizaram diferentes estrutura de classificação de SVM para avaliar os resultados, gramíneas, plantas espontâneas e berinjelas foram mapeadas de forma satisfatória usando a classificação SVM em dois cenários considerados na pesquisa: índice de vegetação em conjunto com texturas em níveis de cinza com precisão de 0,75; e usando somente o índice de vegetação a precisão geral foi de 0,58.

### 3.5.4. Random Forest – RF

Entre os algoritmos de aprendizado de máquina o classificador *Random Forest* (RF) tem se consolidado perante a comunidade de sensoriamento remoto, de acordo com Du *et al.* (2015), isso se deve à sua alta velocidade de operação, bem como, seu desempenho generalizado. Para Breiman (2001), o RF trata-se de um conjunto de árvores de classificação, nele cada árvore de decisão emprega um subconjunto de amostras de treinamento e variáveis

selecionadas por uma abordagem de *bagging*, enquanto as amostras restantes são usadas para validação cruzada interna do desempenho de RF.

A utilização do RF foi detectada entre os artigos analisados, principalmente no que tange a classificação de imagens, alcançando resultados satisfatórios. No trabalho desenvolvido por Lambert *et al.* (2017) testaram o desempenho preditivo de modelos estatísticos ajustados às imagens de uma plantação de trigo com infestação de plantas espontâneas, para tanto usaram um classificador RF para avaliar a capacidade dos dados espectrais de discernir as densidades de ervas daninhas, os autores relatam que o RF distinguiu plantas de trigo de plantas espontâneas, demonstrando que o conjunto de dados RGB atingiu uma acurácia de 0,68.

### 3.5.5. Simple Linear Iterative Clustering – SLIC

O *Simple Linear Iterative Clustering* (SLIC) é um dos algoritmos de superpixel mais populares e bem-sucedidos na atualidade, pois tem sido usado tanto no contexto de algoritmos clássicos de análise de imagens quanto no contexto de aprendizagem profunda, por isso, é cada vez mais aplicado a diferentes tipos de processamento de imagem (Achanta *et al.*, 2012). Trata-se de uma adaptação da abordagem *k-means* para geração de superpixels, com controle do tamanho e compactação dos superpixels. O SLIC cria um agrupamento local de pixels com base em seus valores espectrais

Bah *et al.* (2018), ao realizarem um trabalho para diferenciar culturas de ervas daninhas, fizeram uso do SLIC para obter uma máscara a partir da interseção de superpixels e as linhas detectadas. Ainda de acordo com os autores o SLIC foi escolhido por ser simples e eficiente em termos de qualidade de resultados e tempo de computação, e neste caso prestou-se de forma positiva atingindo precisão geral de 93% para beterraba, 81% para espinafre e 69% para feijão.

## 3.6. VARIÁVEIS UTILIZADAS COMO PREDITORAS

Entre as variáveis utilizadas nas pesquisas que compõe o trabalho as mais frequentes foram a RGB estando em 16,30% dos artigos, seguido por NIR com 15,22 %, na sequência está a variável ExG (*Excess Green Index*) com 14,13 % e por fim NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) compondo 13,04% das pesquisas. Torres-Sánchez *et al.* (2013) apresentaram as diferenças espectrais entre plantas espontâneas, plantas de girassol e solo descoberto, o ExG (*Excess Green Index*) foi significativo para altitude de 30 m, no entanto na

discriminação entre vegetação e solo descoberto, foi observado uma maior separabilidade espectral com o índice NDVI. Comparando zonas infestadas e livres de plantas espontâneas, Peña *et al.* (2015), obtiveram uma precisão com a câmera multiespectral (usando imagens NDVI) de 14%, 18% e 5% maior do que a precisão alcançada com a câmera de luz visível (usando imagens ExG) coletadas com um intervalo de 6-7 dias em 29 de maio, 4 de junho e 11 de junho para diferenciar as plantas nas distintas fases de crescimento.

Alexandridis *et al.* (2017) utilizaram imagens obtidas com uma câmera multiespectral (*green-red-NIR*) acoplada em um RPA, para realizar a detecção e mapeamento de plantas espontâneas em uma cultura de cereais. Fawakherji *et al.* (2019) usaram imagens multiespectrais (*NIR-Red*) e o índice NDVI para analisar a cultura da beterraba, bem como, fizeram uso do método de aprendizado profundo para estimar a cultura e distribuição de plantas espontâneas por meio dessas imagens.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existe um crescente interesse por parte dos pesquisadores em relação ao tema abordado, envolvendo principalmente as culturas agrícolas. No que diz respeito as espécies florestais, poucas produções foram encontradas ao longo da pesquisa, indicando que há muito a ser explorado quanto a estudos nessa área, uma vez que se encontrou apenas um artigo sobre o assunto. As informações obtidas pelo RPAS oferecem diversas possibilidades na identificação e no monitoramento da incidência das plantas espontâneas, facilitando assim na elaboração de estratégias para reduzir os problemas ocasionados por essas plantas, principalmente no que diz respeito ao rendimento final da produção das espécies agrícolas e florestais.

#### REFERÊNCIAS

- ACHANTA, R.; SHAJI, A.; SMITH, K.; LUCCHI, A.; FUA, P.; SUSSTRUNK, S. SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods. **IEEE Trans. Pattern**, 2012, v.34, n.11, p. 2274–2282.
- ALEXANDRIDIS, T. K.; TAMOURIDOU, A. A.; PANTAZI, X. E.; LAGOPODI, A. L.; KASHEFI, J.; OVAKOGLU, G.; MOSHOU, D. Novelty detection classifiers in weed mapping: silybum marianum detection on UAV multispectral images. **Sensors**, 2017, v. 17, n. 9, p. 2007.
- BAH, M. D.; HAFIANE, A.; CANALS, R. Deep Learning with Unsupervised Data Labeling for Weed Detection in Line Crops in UAV Images. **Remote Sensing**, 2018, v. 10, p. 1-22.
- BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, 2001, v.45, p. 5–32.

- CASTALDI, F. et al. Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. **Precision Agriculture**, 2017, v. 18, n. 1, p. 76-94.
- DAVID, L. C. G.; BALLADO, A. H. **Vegetation indices and textures in object-based weed detection from UAV imagery**. In: 2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering. 2016, p. 273-278.
- DU, P.; SAMAT, A.; WASKE, B.; LIU, S.; LI, Z. Random forest and rotation forest for fully polarized SAR imageclassification using polarimetric and spatial features.ISPRS J. Photogramm. **Remote Sensing**, 2015,105, 38–53.
- EUGENIO, F. C.; SCHONS, C. T.; MALLMANN, C. L.; SCHUH, M. S.; FERNANDES, P.; BADIN, T. L. Remotely piloted aircraft systems and forests: A global state of the art and future challenge. **Can. J. For. Res.**, 2020. v. 50, n. 8, p. 705-716.
- FAWAKHERJI, M.; POTENA, C.; BLOISI, D. D.; IMPEROLI, M. PRETTO, A.; NARDI, D.Uav image based crop and weed distribution estimation on embedded gpu boards. In: International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns. **Springer**, 2019. p. 100-108.
- GARCIA-RUIZ, F. J.; WULFSOHN, D.; RASMUSSE, J. *Sugar beet (Beta vulgarisL.) and thistle (Cirsium arvense L.) discrimination based on field spectral data*. **Biosystems Engineering**, 2015. v. 139, p. 1-15.
- GIACCO, F.; THIEL, C.; PUGLIESE, L.; SCARPETTA, S.; MARINARO, M. Uncertainty analysis for the classification of multispectral satellite images using SVMs and SOMs. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 2010. v. 48, n. 10, p. 3769–3779.
- HUANG, H.; DENG, J.; LAN, Y.; YANG, A.; DENG, X.; ZHANG, L. A fully convolutional network for weed mapping of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. **PloS one**, 2018, v. 13, n. 4, p. e0196302.
- LAMBERT, J. P. T.; HICKS, H. L.; CHILDS, D. Z.; FRECKLETON, R. P. Evaluating the potential of Unmanned Aerial Systemsfor mapping weeds at field scales: a case study with *Alopecurus myosuroides*. **Weed Research**, 2017. v. 58, p. 35-45.
- LÓPEZ-GRANADOS, F.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; SERRANO-PÉREZ, A.; CASTRO, A.; MESAS-CARRASCOSA, F. J.; PEÑA, J. M. Early season weed mapping in sunflower using UAVtechnology: variability of herbicide treatment mapsagainst weed thresholds. **Precisión Ariculture**, 2016. v. 17, p. 183–199.
- LOUARGANT, M.; VILLETTE, S; JONES, G; VIGNEAU, N; PAOLI, J. N.; GE´e, C. Weed detection by UAV: simulation of the impactof spectral mixing in multispectral images. **Precision Agric**, 2017. v. 18, p. 932-951.

- MA, Y.; WU, H.; WANG, L.; HUANG, B.; RANJAN, R.; ZOMAYA, A.; JIE, W. Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. **Future Generation Computer Systems**, 2015. v. 51, p. 47–60.
- MESAS-CARRASCOSA, F. J.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; CLAVERO-RUMBAO, I.; GARCÍA-FERRER, A.; PEÑA, J. M.; BORRA-SERRANO, I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Assessing optimal flight parameters for generating accurate multispectral orthomosaics by UAV to support site-specific crop management. **Remote Sensing**, 2015, v. 7, n. 10, p. 12793-12814.
- NAJAFABADI, M. M.; VILLANUSTRE, F.; KHOSHGOFTAAR, T. M.; SELIYA, N., WALD, R.; MUHAREMAGIC, E. Deep learning applications and challenges in big data analytics. **Journal of Big Data**, 2015. v. 2, n. 1, p. 1–21.
- PEARSE, G. D.; TAN, A. Y.; WATT, M. S.; FRANZ, M. O.; DASH, J. P. Detecting and mapping tree seedlings in UAV imagery using convolutional neural networks and field-verified data. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2020, 168, p. 156-169.
- PEÑA, J. M.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; SERRANO-PÉREZ, A.; DE CASTRO, A.I; LÓPEZ-GRANADOS. Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. *Sensors*, 2015, v. 15, n. 3, p. 5609-5626.
- SOUZA, M. C. DE; COSTA, P. L. A. A. DA; SALGADO, T. P. Interferência da comunidade infestante sobre plantas de *Eucalyptus grandis* de segundo corte. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, 2010. n. 85, p. 63–71.
- SCHMIDHUBER, J. Deep Learning in neural networks: An overview. **Neural Networks**, 2015. v. 61, p. 85–117.
- RASMUSSEN, J. et al. Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off-the-shelf UAVs. **Precision Agriculture**, 2019. v. 20, n. 5, p. 983–999.
- TETRACAM. **Sobre a Tetracam**. Disponível em: <https://www.tetracam.com/Company.htm>. Acesso em: Acesso em 14 de abr. de 2021.
- TORRES-SÁNCHEZ, J.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; DE CASTRO, A. I.; PEÑA-BARRAGÁN, J. M. Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. **PloS one**, 2013v. 8, n. 3, p. e58210.
- WANG, S.; HAN, Y.; CHEN, J; PAN, Y; CAO, Y; MENG, H; ZHENG, Y. A Deep-Larning-Based Low-Altitude Remote Sensing Algorithm for Weed Classification in Ecological Irrigation Area. **Springer Nature Singapore**, 2019. v. 932, p. 451-460.

# CAPÍTULO III

## “NOSSO CÉU NEM SEMPRE É AZUL”: ELEMENTOS PARA UMA ANIMAÇÃO SOBRE AS CONSEQUÊNCIAS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA

### "OUR SKY IS NOT ALWAYS BLUE": ELEMENTS FOR AN ANIMATION ON THE CONSEQUENCES OF DEFORESTATION IN THE AMAZON

DOI: 10.51859/amplla.mac5295-3

Giulia Ranah Werley Neves Ferreira <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bacharel em Design pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

#### RESUMO

O objetivo desse texto é apresentar uma reflexão teórica sobre as consequências resultantes da produção do desmatamento no âmbito da floresta amazônica. É um recorte do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC): “Nosso céu nem sempre é azul: uma animação sobre as consequências do desmatamento na Amazônia” apresentado no Curso de Bacharelado em Design da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) em 2023. O desenvolvimento dessa sistematização foi mobilizado pela necessidade da produção de uma animação em *Motion Graphics* com a finalidade de comunicar os danos do desmatamento através de uma linguagem simplificada com o auxílio de imagens dinâmicas para facilitar a compreensão do conteúdo. Os resultados evidenciaram que é possível desenvolver um estudo e representá-lo nas perspectivas da escrita e do audiovisual. Concluímos que a reflexão crítica a respeito das implicações decorrentes do desmatamento em um processo de dupla linguagem, pode possibilitar a comunicação de saberes formativos para diferentes públicos, um aceno para a Educação Ambiental.

**Palavras-chave:** Desmatamento. Consequências do Desmatamento. *Motion Graphics*. Audiovisual.

#### ABSTRACT

The objective of this text is to present a theoretical reflection on the consequences resulting from the production of deforestation in the Amazon forest. It is a clipping of the Course Completion Work (TCC): "Our sky is not always blue: an animation about the consequences of deforestation in the Amazon" presented in the Bachelor's Degree in Design at the Federal Technological University of Paraná (UTFPR) in 2023. The development of this systematization was mobilized by the need to produce an animation in Motion Graphics in order to communicate the damage of deforestation through a simplified language with the help of dynamic images to facilitate the understanding of content. The results showed that it is possible to develop a study and represent it in the perspectives of writing and audiovisual. We conclude that critical reflection about the implications of deforestation in a dual-language process can enable the communication of formative knowledge to different audiences, a nod to Environmental Education.

**Keywords:** Deforestation. Consequences of Deforestation. *Motion Graphics*. Audiovisual.

# 1. INTRODUÇÃO

Meu caminho é novo, mas meu povo não.  
O norte é a minha seta, o meu eixo, a minha raiz.  
(Anavitória e Rita Lee, 2021)<sup>1</sup>

O desmatamento diz respeito ao ato de desflorestar, ou seja, o gesto de derrubar árvores de um terreno ou região em larga escala, removendo a floresta de forma total ou parcial de determinado local (Ferreira, 2010). Entre as razões para o acontecimento desse fenômeno, está a ação antrópica, caracterizado pela ação humana que resulta em alterações no meio ambiente.

No Brasil, essa prática ocorre desde os primeiros 30 (trinta) anos da presença portuguesa no que antes se chamava *Costa do Pau-Brasil*, isso porque foi o nessa época que iniciou a exploração comercial da floresta brasileira com a finalidade de adquirir matérias primas, como o pau brasil, que foi um dos objetos considerados mais interessantes para as indústrias têxteis da época (Castro, 2002).

Na atualidade, uma das razões mais evidentes para o abate das florestas e para o aumento do desmatamento ocorre devido à expansão das produções agrícolas (National Geographic, 2019). Portanto, é possível dizer que parte das razões que levam ao desmatamento hoje, estão ligadas à alimentação do ser humano e ao modelo exploratório que reduz espaços florestais para favorecer às produções agrícolas.

Esses rastros da grande agricultura já levaram a perdas de florestas tão grandes, que chegaram a afetar o ecossistema em todo o mundo, como é o caso das pradarias na América do norte ou da Mata Atlântica no Brasil. Assim, é interessante notar que apesar da diferença de objetivos e da distância com o período colonial, a exploração de florestas dentro do território brasileiro que ainda ocorre nos dias de hoje, são sempre movidas por fatores antrópicos.

Desta forma, o presente trabalho, extraído de um texto monográfico (Ferreira, 2023a), analisou as consequências resultantes da produção do desmatamento no âmbito da floresta amazônica com vistas ao desenvolvimento da animação em *Motion Graphics*<sup>2</sup> explicando as

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.letras.mus.br/anavitória/amarelo-azul-e-branco-part-rita-lee/> Acesso em: 24.04.2025

<sup>2</sup> O *motion graphics* pode ser descrito como uma técnica de animação que combina movimento, rotação ou dimensionamento de imagens, vídeos e textos durante um espaço de tempo introduzidos dentro de uma tela,

consequências das queimadas e do desmatamento na Amazônia (Ferreira, 2023b). Os desdobramentos expressos por meio de objetivos específicos, consistiram em levantar dados estatísticos sobre o desmatamento, identificar os principais problemas gerados pelo desmatamento, desenvolver uma animação a fim de evidenciar os principais resultados encontrados durante o estudo.

O estudo de enfoque qualitativo foi desenvolvido a partir das contribuições da pesquisa documental, perspectiva metodológica que “[...] vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa” (Gil, 2008, p. 51). Utilizamos registros de estudos disseminados por diferentes mídias digitais em dialogia com as contribuições teóricas relacionadas ao tema (Herrera; Moreira; Bezerra, 2016; Lucena Júnior, 2019; Souza, 2019; Fearnside, 2022), dentre outros.

O desenvolvimento da pesquisa se justificou pela preocupação com os impactos negativos gerados pelas queimadas e pelo desmatamento na Amazônia, que vem afetando tanto quem vive na região quanto quem vive fora dela. Com esse estudo foi possível produzir uma animação que demonstrasse quais são os principais problemas e consequências encontrados pelo desflorestamento da Amazônia.

A proposta do estudo iniciou a partir do questionamento sobre o período de queimadas, que é considerada bastante comum no município de Porto Velho, estado de Rondônia, localidade de origem da autora deste trabalho. Essa prática é comumente ligada ao desmatamento, tem atingido diretamente a qualidade de vida das comunidades da região, despertando a atenção para um problema maior que também compromete quem está distante dela.

O título deste trabalho também possui relação com a terra natal da autora, sendo uma alusão direta ao trecho “Azul, nosso céu é sempre azul” que se encontra no hino do estado de Rondônia, promovendo uma reflexão crítica sobre uma realidade consideravelmente diferente do que a música busca transmitir. A confecção de uma animação sobre o tema, funcionou como um recurso informacional capaz de comunicar as pesquisas provindas deste estudo de uma maneira simples e didática para que assim possa auxiliar na compreensão do

---

sendo normalmente acompanhado por alguma trilha sonora ou efeitos sonoros. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=zgjTDgAAQBAJ&lpg=PA6&lr&hl=pt-BR&pg> Acesso em: 12 mai. 2025.

tema, motivando a reflexão do espectador sobre o seu papel diante do problema apresentado. O desenvolvimento do projeto de animação buscou ainda documentar o processo de criação, apresentando conceitos, técnicas e a metodologia adotada para sua confecção. Desta forma, será possível formular estratégias visuais capazes de transformar a informação em uma linguagem visual que possa complementar o raciocínio da pesquisa. (Ferreira, 2016; Filatro, 2008; Lucena Júnior, 2019).

A produção em *Motion Graphics* a qual nos referimos nesse trabalho, “Nosso céu nem sempre é azul” – Uma animação sobre o desmatamento da Amazônia, já se encontra disponível em uma plataforma de vídeos online<sup>1</sup>. Trata-se de uma forma de comunicação em linguagem audiovisual que pode representar uma alternativa dialógica sobre o tema tendo como suporte o auxílio de imagens dinâmicas para facilitar a compreensão do conteúdo.

## 2. REFLEXÕES TEÓRICAS SOBRE DESMATAMENTO E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Era uma vez na Amazônia a mais bonita floresta  
Mata verde, céu azul, a mais imensa floresta  
No fundo d'água as laras, caboclo lendas e mágoas  
E os rios puxando as águas  
Papagaios, periquitos, cuidavam de suas cores  
Os peixes singrando os rios, curumins cheios de amores  
Sorria o jurupari, o uirapuru, seu porvir  
Era flora, fauna, frutos e flores  
Toda a mata tem caipora para a mata vigiar  
Veio caipora de fora para a mata definir  
E trouxe dragão de ferro pra comer muita madeira  
[...] Fizeram logo o projeto sem ninguém testemunhar  
Pra o dragão cortar madeira e toda mata derrubar  
Se a floresta, meu amigo, tivesse pé pra andar  
Eu garanto, meu amigo, que o perigo não tinha ficado lá.  
Vital Farias (1982)<sup>2</sup>

A princípio, é necessário compreender por que, como e onde acontece o desmatamento na região amazônica para que se possa dar prosseguimento ao desenvolvimento da animação que foi proposta para este trabalho. Nesta seção, apresentaremos o tema, buscando evidenciar as características do problema que cercam o

<sup>1</sup> Conferir em: (283) "Nosso céu nem sempre é azul" - Uma animação sobre o desmatamento da Amazônia - YouTube Acesso em: 24 abr. 2025. (Ferreira, 2023b).

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.letras.mus.br/vital-farias/380162/> Acesso em: 24 abr. 2025.

assunto, pois a Amazônia, além de envolver um grandioso e complexo ecossistema, é também palco de uma história sobre as relações de poder entre os próprios seres humanos pela conquista da natureza.

É o que ocorre com a chegada dos europeus no século XVI, quando populações locais e sociedades já hierarquizadas são subjugadas por colonizadores fazendo com que o restante dos povos locais fossem obrigados a buscarem resistência, isolamento ou submissão aos colonos (Souza, 2019). Além desse embate por dominação humana, que também inclui as batalhas territoriais entre os próprios países europeus dentro de terras amazônicas, há também a exploração de sua região através da pecuária e interesse em construir plantações, como o plantio de açúcar e tabaco realizada pelos ingleses em 1599 (Souza, 2019). Desde estes eventos nos primeiros séculos do período colonial até os governantes políticos dos dias atuais, a história da Amazônia tem se caracterizado por um gigantesco esforço para alterar e dominar a realidade de sua natureza.

Uma das razões para isso acontecer, segundo Loureiro (2002), é que a exuberância e riqueza encontradas na Amazônia acabam sendo mais rentáveis e economicamente mais úteis à Metrópole naquele período colonial e hoje ao que é a federação, do que ela seria para sua própria região. Para entender melhor o que são essas riquezas e quais são as características mencionadas sobre a região amazônica, será necessário destrinchar sua definição geográfica.

Até então, quando se fala em região amazônica neste trabalho, o termo se refere ao Bioma Amazônia. Este bioma é caracterizado como uma floresta tropical úmida sendo que 60,1% deste bioma se encontra no território brasileiro percorrendo as regiões do norte, nordeste e Centro-Oeste. Para se ter uma noção do tamanho deste bioma, caso ele se tornasse um país, seria considerado o sétimo maior país do mundo (WWF, 2005).

O território coberto por esse bioma é de 6,7 milhões de km<sup>2</sup> e ainda que o território brasileiro detenha a maior parte desse bioma com uma porcentagem de 60%, outros países também percorrem essa floresta como o Peru que possui 13% do bioma Amazônia e outros países como Colômbia, Venezuela, Equador, Bolívia, Guianas e o Suriname que possuem fragmentos espalhados (Eco Debate, 2014).

Nessa direção, a Amazônia Legal é definida pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia em consonância ao artigo 2º da Lei Complementar n. 124, de 03.01.2007 que tem como objetivo indicar a delimitação geográfica da região amazônica no país a fim de auxiliar nas questões políticas e econômicas do território brasileiro (Brasil, 2022).

Além da floresta Amazônica possuir mais da metade da biodiversidade do planeta, ela também representa um terço das florestas tropicais que existem no mundo. Isso garante uma importante manutenção dos serviços ecológicos, como por exemplo, garantir a qualidade do solo, dos estoques de água nos rios doces, além de proteger toda a biodiversidade, que como mencionada, é uma das maiores do nosso planeta (Ramos, 2001). Dessa forma, a riqueza de que tanto se fala viria da própria complexidade encontrada em seu ecossistema, responsável por abrigar grandes quantidades de corpos hídricos, uma rica biodiversidade e uma vegetação que, segundo Jabur e Júnior (2014) é tão grande que apenas 10% da vida vegetal da Amazônia foi estudada até então.

Apesar disso, o desmatamento ainda ocorre, e nos últimos anos vem ocorrendo em grande escala. Para algumas perspectivas, é um problema que deverá persistir em função do lucro decorrente dessa situação. Assim, a “Amazônia continuará vivenciando os problemas sociais à medida que cada vez mais se expande a dinâmica capitalista [...]” (Herrera; Moreira; Bezerra, 2016, p. 225). No momento que a tecnologia dos satélites deu ao ser humano a oportunidade de vislumbrar a terra numa perspectiva de cima, vista do espaço, muita coisa mudou, pois foi uma descoberta que originou uma nova percepção sobre o nosso planeta. Isso inclui a forma como foram observadas as particularidades do planeta, como as cidades, oceanos, florestas e etc.

Direcionando este ponto de vista para a floresta amazônica, foi possível começar a monitorar o que se passava nesta região de tempos em tempos. Apesar do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ter surgido como uma motivação gerada pela corrida espacial entre União Soviética e Estados Unidos na década de 1960, ele se tornou um grande estímulo para as pesquisas aplicadas no país no decorrer do tempo e da evolução dos satélites meteorológicos e de sensoriamento remoto (Brasil/INPE, 2021). É em 1970 que os trabalhos que dão origem às primeiras imagens sobre o desmatamento na região amazônica são apresentadas, produzindo estimativas anuais sobre as taxas de desflorestamento. Isso auxiliou na consolidação de atividades voltadas para a área ambiental a partir do acesso pelo espaço. Assim, foi possível fazer um registro sobre os dados de desmatamento nos anos que se seguiram até os dias atuais.

Os dados oficiais apresentados são uma estimativa da taxa de desmatamento para 2021, isso porque a taxa somente será consolidada no primeiro semestre de 2023 quando estiver completo o processamento de todas as 229 regiões que recobrem a Amazônia Legal

Brasileira (ALB). Para este momento, esses são os dados necessários para mostrar como o desmatamento sempre foi algo que se manteve bastante ativo desde o princípio do seu monitoramento. Anos como 1995 e 2004 evidenciam o pico dessa extensão do desmatamento, e por sua vez estas estariam associadas às características políticas e econômicas do período em que se encontrava o Brasil. No caso de 1995, por exemplo, este pico seria um reflexo diante da recuperação econômica que o país estaria passando com o Plano Real, pois com a elevação da disponibilidade de capital que as reformas ofereceram, junto com as eleições municipais em 1994, possibilitou-se o aumento do crédito agrícola. Isso significa que para os fazendeiros era muito melhor o incentivo ao desmatamento do que as mudanças econômicas que influenciavam o valor dos bens, como eram no caso as suas terras (Fearnside, 2022).

O indicativo que se tem é que com a disponibilidade de capital e o impacto da inflação, grande parte do desmatamento seria realizada mais por quem investe em fazendas médias ou grandes com foco na criação de gado, do que por pequenos agricultores que trabalham de maneira familiar (Fearnside, 2022). Apesar desta ser apenas uma das perspectivas que evidenciam as razões que cercam o tema, ela ajuda a compreender o porquê do desmatamento acontecer, mesmo que não exista somente uma razão para que o desmatamento aconteça, sempre há uma motivação e um contexto para ele ocorrer.

Sobre este fato, as leituras apontam que: “Não acreditamos que exista uma força principal que impulse ou que explique sozinha os desmatamentos na Amazônia. As causas são várias e decorrem de uma combinação sofisticada de diversas variáveis e fatores”. (Margulis, 2000, p. 9). Afirmação que encontra correspondência nos dados disponibilizados em diferentes fontes e veiculadas nas mídias sociais.

A esse respeito, somente nos últimos 20 anos, cerca de 300.000 km<sup>2</sup> foram desmatados no Bioma Amazônia, sendo que a área total desmatada dentro do bioma é de 729.781,76 km<sup>2</sup>, o que corresponde a pelo menos 17% dessa região. Segundo o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), apenas entre agosto de 2021 e julho de 2022 a taxa de desmate na Amazônia Legal foi de aproximadamente 10.781 km<sup>2</sup>, para se ter uma ideia, isso seria como o tamanho da cidade de São Paulo em 7 vezes (G1, 2022).

Os dados apresentados pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), evidenciam a estimativa dos pontos mais afetados em 2021 que estão localizados nos estados do Pará, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Acre,

Roraima, Maranhão, Amapá e Tocantins (Brasil, 2021). Apesar destas regiões serem as mais atingidas, não quer dizer que sejam as únicas a sofrerem com os problemas resultantes do desflorestamento. De acordo com o Portal de Notícias G1<sup>1</sup>, um estudo feito pelo MapBiomas mostrou que 21% do território brasileiro teria sido queimado nas últimas 4 décadas. Para se ter uma noção de dimensão, isso equivale a aproximadamente ao tamanho da Colômbia e Chile juntos.

Esses impactos atingem a diversidade biológica considerando que detém um imenso valor para que a sobrevivência da humanidade, pois é nela que existem os serviços ambientais fundamentais para a vida, como por exemplo, a purificação da água, a ciclagem de nutrientes e a manutenção de condições climáticas. Isso implica em uma grande fonte de recursos que nos fornece soluções alimentares, medicinais, industriais, entre outras (Baccaro *et al.* 2008). O efeito na biodiversidade também pode alterar todo o sistema natural, causando um grande desequilíbrio entre as espécies e, uma vez dada a falta das espécies predadoras, pode contribuir para o surgimento de pragas. (Exame, 2023).

Só a Amazônia brasileira possui cerca de 5.015.067,749 km<sup>2</sup> (Brasil/IBGE, 2021) e ela é responsável por abrigar 20% de toda a biodiversidade do mundo, além de corresponder a cerca de 25% das florestas tropicais remanescente do planeta (Baccaro *et al.* 2008). Encarregada de abrigar um enorme número de plantas e animais existentes no planeta, a classificação científica que se tem é de pelo menos 40 mil espécies de vegetais, 427 mamíferos, 1.294 aves, 378 répteis, 427 anfíbios e cerca de 3 mil peixes dentro dessa região (WWF, 2005).

Sem uma visão que mostre a importância da conservação dessa biodiversidade, é possível que se evidencie um problema referente ao ser humano que ele mesmo não percebe, que é o fato de si próprio estar inserido nessa biodiversidade, e quando se fala em perda da biodiversidade, também se fala em perda de vidas humanas geradas pelo impacto do desmatamento.

Assim, como uma grande floresta tropical que ocupa quase metade do território brasileiro, a floresta amazônica possui um grande valor estratégico para o país, isso porque

---

<sup>1</sup> PEIXOTO, Roberto. 26.04. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/04/26/brasil-queimou-mais-de-21percent-do-seu-territorio-em-quase-4-decadas.ghtml> Acesso em: 12/05/2023

ela é caracterizada como um ecossistema autossustentável. A floresta amazônica recebe os ventos alísios do oceano Atlântico responsáveis por cerca de metade das chuvas que ocorrem na região. A outra metade teria origem na evapotranspiração, caracterizada pela perda de água do solo por meio da transpiração das plantas e evaporação (WWF, 2005). Esse acontecimento é responsável por proporcionar uma rica biomassa, que geram nutrientes e favorece os microrganismos que habitam o solo da região, tornando-a um sistema que se mantém através de seus próprios nutrientes em um ciclo constante (Eco Debate, 2014).

Porém, existe ainda um efeito negativo gerado pela fumaça diante da chuva. A fumaça dos incêndios florestais e das queimadas em regiões já desmatadas impede que as gotas de chuva cresçam o suficiente para cair por força da gravidade. Quando isso acontece, a chuva é produzida por mecanismos que normalmente ocorrem em grandes altitudes e são incomuns quando o ar está claro. (Moutinho, 2006).

Além disso, um dos impactos que as queimadas e o desmatamento podem resultar é a mudança do uso do solo e da terra. Conforme explicado anteriormente, o fluxo de vapor de água para o céu reduz drasticamente, alterando o ciclo hidrológico. Portanto a Amazônia pode sofrer um aumento de temperatura de 5 a 8°C e uma perda de 20% nas chuvas até o ano de 2100. (Marengo, 2007).

Uma vez que o clima seja o principal fator que regule a vida na terra, atentar-se aos problemas que afetam o clima é uma tarefa coletiva e global que exige comprometimento e ação imediata. Por conta de mudanças no padrão de doenças infecciosas e parasitárias, assim como na produção de gases de efeito estufa e poluição do ar, o desmatamento na Amazônia pode ter uma influência negativa considerável na saúde humana. Um exemplo de um desses problemas, são as condições respiratórias.

O desmatamento pode resultar na liberação de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, monóxido de carbono e dióxido de enxofre. Segundo Vidotto (2019), essa poluição do ar piora a inflamação das vias aéreas e aumenta a resposta autoimune. Portanto, pode causar ou agravar condições respiratórias como asma, bronquite e doença pulmonar obstrutiva crônica bem como diversas doenças ligadas ao sistema respiratório. (Unisinos, 2022).

Diferentes faixas etárias são afetadas de formas diferentes pelos efeitos dos gases tóxicos na saúde humana. Crianças e idosos correm mais riscos, assim como pessoas com

doenças crônicas como asma e outras doenças inflamatórias, agravadas pela fumaça, composta principalmente por gases tóxicos e partículas finas (Barcellos *et al.* 2019).

De acordo com um estudo da Fiocruz (Hacon, 2019), as queimadas na Amazônia são responsáveis pelo aumento das internações causadas por problemas respiratórios durante esta década de 2010 a 2020 nos estados com mais focos de calor, sendo eles os estados do Pará, Mato Grosso, Rondônia, Amazonas e Acre. De acordo com esse autor, essas internações custaram ao cofre público cerca de 1 bilhão de reais. A pesquisa aponta ainda que a ligação entre a situação pandêmica e os incêndios florestais na Amazônia pode ter piorado a saúde da população, já que os poluentes das queimadas podem levar a uma resposta inflamatória persistente e aumentar o risco de contrair vírus que entram nas vias respiratórias. No caso de doenças infecciosas ou parasitárias, pode ocorrer um aumento na ocorrência de doenças transmissíveis devido a erradicação de espécies reguladoras das populações de vetores ou pelo surgimento de novos ambientes que favoreçam o crescimento desses vetores.

De acordo com Saccaro Junior (2015), nesse ano, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) apresentou um estudo que comparou os dados de monitoramento da Amazônia realizados pelo INPE, com as doenças de notificação compulsória do SUS, que são de maior interesse epidemiológico por critérios de magnitude, potencial de disseminação e vulnerabilidade.

Segundo a pesquisa, um incremento de 1% na área desmatada de um município leva a um aumento de 23% nos casos de malária e de 8% a 9% nos casos de leishmaniose visceral e tegumentar. É importante lembrar que tanto a malária quanto a leishmaniose são transmitidas pela picada de mosquitos, sendo eles respectivamente o *Anopheles* e *Phlebotomus*. A leishmaniose, diferentemente da malária, depende ainda de espécies de mamíferos que servem como reservatórios dos protozoários.

Portanto, há uma combinação entre as políticas de combate à leishmaniose e à malária na Amazônia com as políticas de controle do desmatamento, devendo ser considerados os custos gerados pelo desmatamento para o sistema de saúde. Existem diversas comunidades indígenas e povos tradicionais na Amazônia que dependem da floresta para viver e preservar sua cultura. A forma de vida dessas comunidades pode estar ameaçada devido ao desmatamento que pode resultar na perda de suas terras. É possível que isso ocorra não apenas devido a perda da biodiversidade da floresta responsável por sustentar seu meio de vida, como também por confronto e conflitos sociais que podem ter origem em empresas

madeireiras, agropecuárias e de mineração que muitas vezes buscam lucrar com a exploração da floresta.

Segundo a reportagem do jornal Brasil de Fato (Pajola, 2019), foi divulgado um relatório pela Comissão Pastoral da Terra, onde diz que no Brasil, em 2021, 52% das disputas de terra aconteceram na Amazônia. Nesta área concentram-se 62% das famílias impactadas. Além disso, o bioma Amazônia contém 97% das zonas de conflito, ou cerca de 69 milhões de hectares.

Ainda segundo a pesquisa, houve mais de 1.000% de pessoas mortas em conflitos rurais em 2018 do que em 2020. Das 109 pessoas que morreram no desastre, 101 eram indígenas do povo Yanomami de Roraima. Todas essas mortes são resultado de questões socioeconômicas provocadas pela mineração ilícita, direta ou indiretamente. O aumento de homicídios foi de 75%. Os estados que compõem a Amazônia Legal, registraram 28 desses crimes, ou 80% do total, onde tiveram o maior número de casos. Essas são ações que prejudicam os direitos de comunidades locais e contribuem para o desmatamento, sendo extremamente contraproducente uma vez que são justamente essas comunidades que ajudam a manter a floresta e sua biodiversidade.

Em termos de prevenção do desmatamento, as Terras Indígenas (TI) estão entre as mais eficazes. Juntos armazenam mais de 13 bilhões de toneladas de carbono e apresentam taxas de desmatamento inferiores a 2%, significativamente inferiores se comparados com os valores observados no entorno dessas terras, entre estão entre 25 e 30%. A conservação e o manejo das TI, juntamente com a concessão de direitos territoriais, promovem a preservação da floresta em pé e, conseqüentemente, a conseqüente prevenção das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) decorrentes do desmatamento (Nery, 2013).

Por isso, as comunidades indígenas e tradicionais têm desempenhado um papel significativo em iniciativas para a preservação e uso racional da biodiversidade, ajudando a promover o desenvolvimento sustentável na área. Por esse motivo é fundamental ressaltar que a preservação da Amazônia é uma preocupação tanto social e cultural quanto ambiental, sendo a animação um instrumento muito importante para auxiliar na divulgação destas informações.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi apresentar uma reflexão referente às consequências geradas pelo desmatamento na Amazônia, que repercutiu na criação e produção de uma animação como um material informativo e didático com fins formativos a partir de recorte de texto monográfico (Ferreira, 2023a). Para que isso fosse possível, foi necessário um estudo sistemático sobre o tema e suas vertentes, com a extração de um conjunto de dados para que só então a animação pudesse cumprir o papel de resumir e compilar as informações por meio de linguagem audiovisual.

O referido estudo foi mobilizado pela necessidade da produção de uma animação em *Motion Graphics* com a finalidade de comunicar os danos do desmatamento para a sociedade através de uma linguagem simplificada com o auxílio de imagens dinâmicas para facilitar a compreensão do conteúdo.

Inferimos que é possível desenvolver um estudo e representá-lo nas perspectivas da escrita e do audiovisual. Nessa direção, a reflexão crítica a respeito das implicações decorrentes do desmatamento em um processo de dupla linguagem, pode possibilitar a comunicação de saberes formativos para diferentes públicos, um possível aceno para a Educação Ambiental.

### REFERÊNCIAS

ANAVITÓRIA; RITA LEE. **Amarelo, azul e branco**. 01 de janeiro de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GtvS897PiyQ> Acesso em: 02/06/2023.

BRASIL. IBGE. **Amazônia Legal**. 2022. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15819-amazonialegal.html#:~:text=A%20Amaz%C3%B4nia%20Legal%20corresponde%20%C3%A0,124%2C%20de%2003.01.2007>. Acesso em: 02/05/2023.

BRASIL. INPE. **A origem do INPE na corrida espacial**. Publicado em 29/07/2021 . Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/aceso-a> Acesso em: 02/05/2023.

BRASIL. INPE. **Estimativa de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal para 2021 é de 13.235 km<sup>2</sup>**. 27.10.2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/divulgacao-de-dados-prodes.pdf> Acesso em: 02/05/2023.

- BACCARO, F. B.; OLIVEIRA; M. L.; BRAGA-NETO, R. ESPINELLI; W. M.. **Reserva Ducke: a biodiversidade amazônica através de uma grade.** Manaus. Áttema Design Editorial, 2008.
- BARCELLOS, Christovam. Et al. **Queimadas na Amazônia e seus impactos na saúde: A incidência de doenças respiratórias no sul da Amazônia aumentou significativamente nos últimos meses. 3º Informe técnico do Observatório de Clima e Saúde.** 2019. Disponível em: [https://climaesaude.icict.fiocruz.br/sites/climaesaude.icict.fiocruz.br/files/informe\\_ob\\_servatorio\\_queimadas.pdf](https://climaesaude.icict.fiocruz.br/sites/climaesaude.icict.fiocruz.br/files/informe_ob_servatorio_queimadas.pdf) Acesso em: 29/04/2023
- CROOK, I.; BEARE, P. **Motion graphics: Principles and practices from the ground up.** Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=zgJTDgAAQBAJ&lpg=PA6&lr&hl=pt-BR&pg> Acesso em: 12/05/2025
- CASTRO, C. F. A. **Gestão Florestal no Brasil Colônia.** Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília – UnB. Brasília - DF, 2002.
- ECO DEBATE. Como o desmatamento da Amazônia interfere na saúde da população? Rio de Janeiro, set. 2014.
- EXAME, **A biodiversidade da Amazônia. 2023.** Disponível em: <https://amazonia.exame.com/biodiversidades/biodiversidade-da-amazonia/>> Acesso em: 05/11/2022.
- FEARNSIDE, P.M. **Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências.** Manaus. Editora do INPA. 2022. Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2022/Destruicao-v1/Cap-1-Desmatamento\\_historia.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2022/Destruicao-v1/Cap-1-Desmatamento_historia.pdf)> Acesso em: 27/09/2022
- FERREIRA, A. B. de H. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa.** 5 ed. São Paulo, SP. Editora Positivo, 2010.
- FERREIRA, M. **Os principais estilos de motion graphics.** Youtube, 27 de novembro de 2016. Disponível em <[https://www.youtube.com/watch?v=tVnZLAgXc\\_Q](https://www.youtube.com/watch?v=tVnZLAgXc_Q)> Acesso em: 09/05/2023.
- FERREIRA, G. R. W. N. **“Nosso céu nem sempre é azul”:** uma animação sobre as consequências do desmatamento na Amazônia. 117f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Design) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2023a.
- FERREIRA, G. R. W. N. **“Nosso céu nem sempre é azul”:** uma animação sobre as consequências do desmatamento na Amazônia. 22 de maio de 2023b. Disponível em: "Nosso céu nem sempre é azul" - Uma animação sobre o desmatamento da Amazônia Acesso em: 02/07/2023.

FILATRO, A. **Design Instrucional na Prática**. São Paulo: Pearson, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

G1. **Amazônia Legal tem o maior desmatamento em 15 anos, aponta IMAZON**. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2022/08/17/amazonia-legal-tem-o-maior-desmatamento-em-15-anos-aponta-imazon.ghtml> Acesso em: 02/11/2022

HACON, Sandra de Souza. Et al. **Amazônia brasileira: Potenciais impactos das queimadas sobre a saúde humana no contexto da expansão da covid-19**. Agência Fiocruz. 2019.

HERRERA, J. A.; MOREIRA, R. P.; BEZERRA, T. S. L. A Amazônia: expansão do capital e apropriação dos recursos naturais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 12, n. 2, p. 208-227, mai-ago/2016.

JABUR, M. A e JÚNIOR, J. C. de S. **SAE Santo Antônio Energia**. Disponível em: [https://www.santoantonioenergia.com.br/wpcontent/uploads/2014/07/04\\_vegetacao\\_amazonia.pdf](https://www.santoantonioenergia.com.br/wpcontent/uploads/2014/07/04_vegetacao_amazonia.pdf) Acesso em: 24/10/2022.

LOUREIRO, V. **Amazônia: uma história de perdas e danos, um futuro a (re)construir**. Estud. Avançados, v. 16 (45). São Paulo, ago., 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000200008> Acesso em: 17/10/2022.

LUCENA JÚNIOR, A. **Arte da animação: técnica e estética através da história**. 3 ed. São Paulo. Senac São Paulo, 2019.

MARGULIS, S. **Quem são os agentes dos desmatamentos na Amazônia e por que eles desmatam**. Paper conceitual. Brasília: Banco Mundial, 2000.

MARENCO, J. A. *et al.* **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007.

MOUTINHO, P. **Biodiversidade e Mudança Climática sob um Enfoque Amazônico**. São Carlos, SP: Rima Editora, 2006.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **Como alimentar 9000 milhões**. 03.05.2019. Disponível em: [https://www.nationalgeographic.pt/ciencia/como-alimentar-9000-milhoes\\_211](https://www.nationalgeographic.pt/ciencia/como-alimentar-9000-milhoes_211) Acesso em: 02/07/2023.

NERY, D. *et al.* **Povos Indígenas e o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+) na Amazônia Brasileira - Subsídios à discussão de repartição de benefícios**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia(IPAM), 2013.

PAJOLA, M.; LACERDA, N. **Amazônia responde por 97% das áreas de conflito por terras no Brasil, aponta CPT**. 18 de Abril de 2022. Disponível em:

<https://www.brasildefato.com.br/2022/04/18/amazonia-responde-por-97-das-areas-d-e-conflito-por-terras-no-brasil-aponta-cpt> Acesso em: 02/05/2023

PEIXOTO, R. 26.04. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/04/26/brasil-queimou-mais-de-21percent-do-seu-territorio-em-quase-4-decadas.ghhtml> Acesso em: 12/05/2023

RAMOS, C. A. **A importância das Florestas em Pé na Amazônia.**

SACCARO JUNIOR, N. L.; MATION, L. F.; SAKOWSKI, P. A. M. **Impacto do desmatamento sobre a incidência de doenças na Amazônia.** 2015. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6258/1/td\\_2142.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6258/1/td_2142.pdf) Acesso em: 29/04/2023.

SOUZA, M. **História da Amazônia:** do período pré-colombiano aos desafios do século XXI. Rio de Janeiro: Record, 2019.

UNISINOS. **Desmatamento afeta a saúde e o bem-estar da população em geral.** IHU. São Leopoldo, 2022. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/620042-desmatamento-afeta-a-saude-e-o-bem-estar-da-populacao-em-geral> Acesso em: 29/04/2023.

VIDOTTO, JP. Et al. **Atmospheric Pollution:** Influence on hospital admissions in Paediatric Rheumatic diseases. *Lupus*. 2012. Disponível em: Acesso em: 12/05/2023

WWF. **Por dentro da floresta amazônica.** 2005. Disponível em: [https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/areas\\_prioritarias/amazonia1/bioma\\_a](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/amazonia1/bioma_a) Acesso em: 21/10/2022.

# CAPÍTULO IV

## A CULTURA DA SOJA: UMA ABORDAGEM INTEGRADA

### SOYBEAN CULTIVATION: AN INTEGRATED APPROACH

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-4

Altacis Junior de Oliveira <sup>1</sup>

Taniele Carvalho de Oliveira <sup>2</sup>

Daniela Soares Alves Caldeira <sup>3</sup>

Marcella Karoline Cardoso Vilarinho <sup>4</sup>

Isane Vera Karsburg <sup>5</sup>

Carlos Luiz Vieira <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>2</sup> Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>3,4</sup> Professora Adjunta da Faculdade de Ciências Agrárias e Biológica – Cáceres. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>5</sup> Professora Adjunta da Faculdade de Ciências Agrárias e Biológica – Alta Floresta. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>6</sup> Mestre em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

### RESUMO

A soja (*Glycine max*), originária da Ásia, foi introduzida no Brasil em 1882 e consolidou-se como uma das principais culturas agrícolas do país, destacando-se por sua elevada rentabilidade e adaptabilidade às condições edafoclimáticas. Sua expansão foi impulsionada especialmente no século XX, com forte presença na região Sul. Atualmente, o Brasil lidera a produção mundial, com 169 milhões de toneladas estimadas para a safra 2024/2025. Este trabalho teve como objetivo apresentar os principais aspectos relacionados à cultura da soja, incluindo sua origem, características botânicas, importância econômica e seus principais derivados. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, do tipo “estado da arte”, com análise crítica de publicações acadêmicas selecionadas em plataformas como Google Acadêmico e SciELO, seguindo critérios metodológicos rigorosos. Botanicamente, a soja é uma planta anual da família Fabaceae, de porte herbáceo, reprodução autógama e grande variabilidade morfológica conforme o ambiente. Apresenta sistema radicular difuso, caule pubescente e vagens com até cinco sementes. Os grãos contêm cerca de 40% de proteínas, 20% de lipídeos e compostos bioativos importantes. Seu ciclo é dividido em fases vegetativa e reprodutiva. A soja é considerada uma commodity global estratégica, com ampla aplicabilidade nos setores alimentício, energético e

industrial. Entre seus principais derivados estão o óleo de soja, o farelo para ração animal e o biodiesel. Compreender sua cadeia produtiva é fundamental para promover a sustentabilidade e a competitividade do agronegócio brasileiro.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Cultivo. Produção. Agroindústria. Biodiesel.

### ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*), originally from Asia, was introduced to Brazil in 1882 and has become one of the country's main agricultural crops, standing out for its high profitability and adaptability to soil and climate conditions. Its expansion was driven especially in the 20th century, with a strong presence in the southern region. Brazil currently leads world production, with an estimated 169 million tons for the 2024/2025 harvest. The aim of this study was to present the main aspects related to the soybean crop, including its origin, botanical characteristics, economic importance and its main derivatives. The research adopted a qualitative, state-of-the-art approach, with a critical analysis of academic publications selected from platforms such as Google Scholar and SciELO, following strict methodological criteria. Botanically, soya is an annual plant from the Fabaceae family, with a herbaceous habit, autogamous reproduction and great morphological variability depending on the



environment. It has a diffuse root system, a pubescent stem and pods with up to five seeds. The beans contain around 40% protein, 20% lipids and important bioactive compounds. Its cycle is divided into vegetative and reproductive phases. Soy is considered a strategic global commodity, with wide applicability in the food, energy and industrial sectors. Among its main derivatives are soybean oil,

bran for animal feed and biodiesel. Understanding its production chain is fundamental to promoting the sustainability and competitiveness of Brazilian agribusiness.

**Keywords:** *Glycine max*. Cultivation. Production. Agroindustry. Biodiesel.

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*), originária do continente asiático, encontrou no Brasil condições favoráveis para sua ampla difusão, impulsionada principalmente pela elevada rentabilidade da cultura. A expansão do cultivo em diversas regiões do país reforça a importância da escolha criteriosa de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas locais, visando otimizar o potencial produtivo e assegurar maior eficiência econômica da lavoura (Da Silva; Simonetti, 2024).

O cultivo da soja remonta a mais de cinco mil anos, tendo como berço a região correspondente à antiga China, onde o grão desempenhava papel fundamental na alimentação da população e funcionava como moeda de troca, sendo comercializado ou permutado por outros bens (APROSOJA MT, 2022). No Ocidente, a adoção da soja como alimento ocorreu de forma gradual. O cultivo comercial teve início nos primeiros anos do século XX, nos Estados Unidos. Já na década seguinte, o elevado teor de óleo e proteína dos grãos atraiu a atenção da indústria mundial. A partir de 1919, ao término da Primeira Guerra Mundial, a soja passou a integrar de forma significativa o comércio exterior (APROSOJA BRASIL, 2021).

A introdução da soja no Brasil iniciou-se aproximadamente em 1882, quando imigrantes que se estabeleceram na Bahia trouxeram as primeiras sementes do grão. No entanto, o cultivo inicial não obteve êxito imediato. Somente nas primeiras décadas do século XX a soja começou a despertar interesse como cultura agrícola, sobretudo na região Sul do país. Nessa área, imigrantes europeus e japoneses iniciaram experimentações em pequenas propriedades, contribuindo para a adaptação e o desenvolvimento da cultura no território nacional (Mais Agro, 2024).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de soja do mundo, com uma produção estimada em 169 milhões de toneladas na safra 2024/2025. Ultrapassando os Estados Unidos, que ocupa a segunda posição com cerca de 121 milhões de toneladas, seguido pela Argentina

com 51 milhões (Globo Rural, 2024). O avanço da cultura em direção a regiões de baixas latitudes foi viabilizado por programas de melhoramento genético que resultaram em cultivares mais adaptadas. Esses programas incorporaram genes capazes de retardar o florescimento da planta mesmo sob condições de fotoperíodo indutor, conferindo-lhe a característica de período juvenil longo (Kihle; Garcia, 1989).

O avanço da cultura da soja no Brasil sempre esteve fortemente associado ao progresso científico e à ampla disponibilidade de tecnologias voltadas ao setor produtivo. Destacam-se, entre os principais fatores que impulsionaram esse crescimento, a mecanização agrícola, o desenvolvimento de cultivares altamente produtivas e adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, bem como a elaboração de pacotes tecnológicos voltados ao manejo do solo, à fertilização e calagem, ao controle de pragas e doenças, e à identificação e correção das principais causas de perdas durante o processo produtivo (Campagnaro *et al.*, 2025).

A cultura da soja tem se destacado como um componente estratégico para a economia global, mesmo não sendo considerada um alimento básico na dieta humana. Esse reconhecimento decorre da ampla gama de aplicações dos grãos e seus derivados, que vão desde a nutrição animal até a produção de bioplásticos e biodiesel. Além disso, sua notável adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas contribui significativamente para sua expansão agrícola em diversas regiões do mundo (Bianco *et al.*, 2012).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo apresentar a cultura da soja, abordando suas principais características, como origem, aspectos botânicos, importância econômica e os principais derivados do grão.

## 2. METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratórios, descritivos e explicativos, caracterizando-se como um estudo documental e bibliográfico. Trata-se, especificamente, de uma investigação do tipo "estado da arte", voltada à análise, atualização e aprofundamento do conhecimento em uma área temática ao longo de um recorte temporal definido. Tal abordagem permite a síntese crítica de textos previamente publicados, desempenhando um papel fundamental na sustentação teórica da pesquisa científica (Shigunov Neto, 2021).

Os materiais analisados foram selecionados a partir de buscas realizadas nas plataformas Google Acadêmico e SciELO, utilizando os descritores “revisão bibliográfica”, “revisão sistemática”, “metassíntese”, “meta-análise” e “estado da arte”. Foram incluídos apenas os estudos que apresentavam, no título e no corpo do texto, uma descrição metodológica clara e abrangente, garantindo sua relevância para a caracterização da abordagem adotada (Cavalcante; Oliveira, 2020).

### 3. ORIGEM E INTRODUÇÃO DA SOJA NO BRASIL

A soja (*Glycine max*) é pertencente à família Fabaceae, sendo uma planta originária da China, onde as primeiras referências ao seu cultivo datam do período entre 2883 e 2838 a.C., época em que era considerada um grão sagrado, juntamente com o arroz, o trigo, a cevada e o milheto. No Ocidente, o cultivo em larga escala teve início apenas no século XX, quando as propriedades nutricionais do grão — especialmente seu teor de óleo e proteína — passaram a despertar o interesse da indústria agroalimentar global (EMBRAPA, 2005).

A soja cultivada atualmente difere bastante de seus ancestrais selvagens, que cresciam na costa leste da Ásia, especialmente ao longo do rio Yangtse, na China. Domesticada por cientistas chineses a partir de cruzamentos naturais, ela era considerada um grão sagrado há mais de 4.000 anos. Sua produção permaneceu restrita à China até o fim do século XIX, sendo introduzida na Europa apenas como curiosidade botânica. O interesse comercial internacional surgiu no século XX, devido ao elevado teor de óleo e proteína, embora as primeiras tentativas de cultivo no Ocidente tenham enfrentado dificuldades climáticas (EMBRAPA, 2010).

Segundo Bonato e Bonato (1987), a soja foi introduzida no Brasil em 1882, inicialmente no estado da Bahia. No Rio Grande do Sul, sua introdução oficial ocorreu em 1908, por meio de imigrantes japoneses. Anos mais tarde, esses imigrantes levaram o cultivo da soja para o estado de São Paulo. Somente em 1914 a cultura foi reintroduzida no Rio Grande do Sul, onde encontrou melhores condições de adaptação, devido ao clima mais ameno da região. As variedades cultivadas nesse período foram trazidas dos Estados Unidos (Campagnaro *et al.*, 2025).

Nos primeiros anos de cultivo, a soja era utilizada principalmente como planta forrageira para alimentação animal, e não pelos seus grãos (Hirakuri; Lazzarotto, 2014). Atualmente, no contexto agrícola global, a cultura ocupa a quarta posição em consumo entre

cereais e oleaginosas, destacando-se especialmente na indústria de óleos, em razão de seu elevado teor de proteína (Rhoden *et al.*, 2020).

Atualmente, o Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de soja, com elevado potencial de expansão tanto em área cultivada quanto em volume de produção. Na safra 2024/2025, o país produziu aproximadamente 168,3 milhões de toneladas, o que representa um crescimento de cerca de 14,22% em relação à safra 2023/2024, que alcançou 147,4 milhões de toneladas (CONAB, 2025). Essa expressiva participação evidencia a relevância da cadeia produtiva da soja, a qual desempenha um papel estratégico na geração de empregos diretos e indiretos, além de impulsionar de forma significativa a economia nacional (Montoya *et al.*, 2019).

A cultura da soja tem se consolidado como um elemento de grande relevância para a economia mundial, mesmo não sendo classificada como alimento básico na dieta humana. Esse protagonismo se deve à ampla gama de aplicações dos grãos e seus derivados — como a nutrição animal, a produção de bioplásticos e biodiesel —, além de sua notável capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (Bianco *et al.*, 2012).

#### 4. ASPECTOS BOTÂNICOS

A soja é caracterizada por seu porte ereto, hábito herbáceo e reprodução autógama. Apresenta variabilidade em diversas características morfológicas, influenciadas principalmente pelas condições ambientais. Entre essas variações destacam-se o ciclo da cultura, que pode variar de 75 dias em cultivares mais precoces até 200 dias nas mais tardias, e a altura das plantas, que oscila entre 30 e 200 centímetros, podendo impactar diretamente o número de ramificações, entre outros aspectos (Müller, 1981).

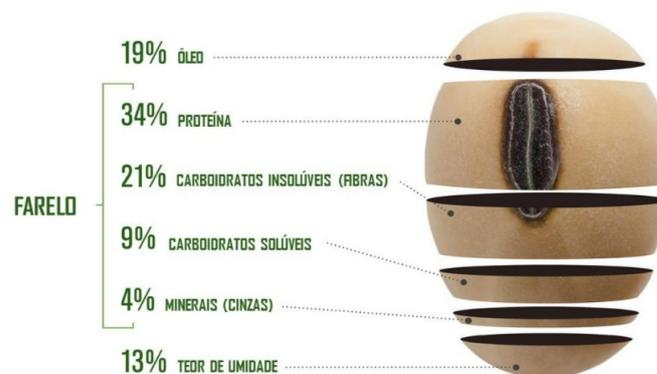
O sistema radicular da soja é composto por uma raiz axial principal e por raízes secundárias organizadas em até quatro ordens. No entanto, devido ao reduzido desenvolvimento da raiz principal, o sistema é predominantemente classificado como difuso (Sediyama *et al.*, 1985). O caule da soja é herbáceo, ereto, pubescente e ramificado, originando-se do eixo embrionário logo após a germinação. Seu crescimento, geralmente ortótropo, pode variar conforme as condições ambientais. O hábito de crescimento da planta é classificado como determinado, semideterminado ou indeterminado, conforme as características do ápice caulinar e da cultivar (Müllher, 1981).

Durante seu ciclo de desenvolvimento, a soja apresenta três tipos distintos de folhas: as cotiledonares, que emergem inicialmente; as unifolioladas, também presentes nas fases iniciais; e as trifolioladas, que surgem em seguida e permanecem até a senescência da planta (Sediyama *et al.*, 1985). As flores da soja são completas, dispostas em racemos axilares ou terminais, podendo apresentar coloração branca ou púrpura, conforme a genética da cultivar. Sua abertura geralmente ocorre pela manhã, sendo influenciada por fatores ambientais como temperatura e umidade (Vernetti; Junior, 2009; Sediyama *et al.*, 2005).

A soja é uma espécie sensível ao fotoperíodo, sendo classificada como planta de dias curtos, ou seja, requer um número mínimo de horas de escuridão contínua para induzir o florescimento. No entanto, essa resposta ao fotoperiodismo pode variar conforme a cultivar utilizada (Rocha, 2009). O fruto da soja é um legume, popularmente conhecido como vagem. Quando maduro, apresenta forma achatada, medindo entre 2 e 7 cm de comprimento e 1 a 2 cm de largura, dimensões que podem variar conforme a cultivar e as condições ambientais. Sua coloração varia entre cinza, amarelo-palha e preta. A produtividade pode alcançar até 400 grãos por planta, sendo que cada vagem contém de 1 a 5 sementes, embora a maioria das cultivares concentre-se entre 2 e 3 sementes por vagem (Müllher, 1981).

Os grãos de soja (figura 1) apresentam em sua composição química média, cerca de 40% de proteínas, 20% de lipídeos, 5% de minerais e aproximadamente 35% de carboidratos totais, dos quais cerca de 3% correspondem ao amido. Além disso, constituem uma importante fonte de compostos bioativos, como carotenoides, fenólicos e tocoferóis, os quais estão distribuídos em todas as estruturas do grão (Ramos, 2019).

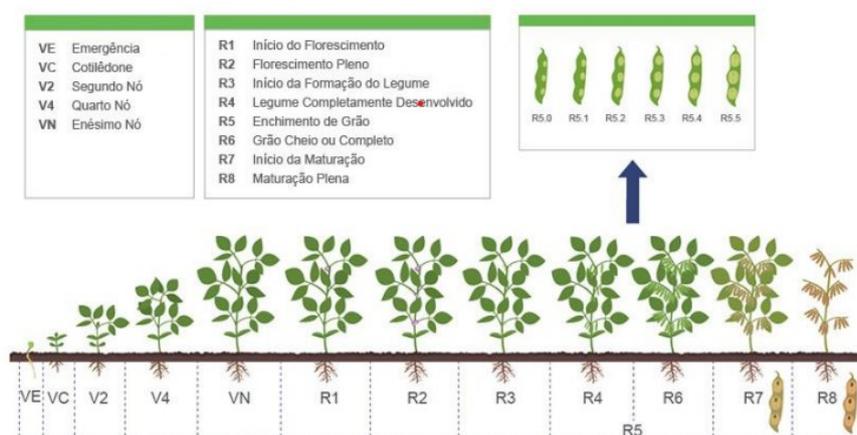
Figura 1 - Composição geral do grão de soja.



Fonte: Ramos (2019).

A metodologia mais amplamente adotada para a definição e descrição dos estádios fenológicos da soja foi proposta por Fehr e Caviness (1977). Esse modelo divide o ciclo da cultura em duas fases principais: a fase vegetativa, que se estende desde a germinação e emergência até o início do florescimento; e a fase reprodutiva, que se inicia com a floração e prossegue até a maturação fisiológica dos grãos (figura 2).

Figura 2- Fenologia da soja.



Fonte: Fehr e Caviness (1977).

## 5. PRINCIPAIS DERIVADOS DO GRÃO DA SOJA

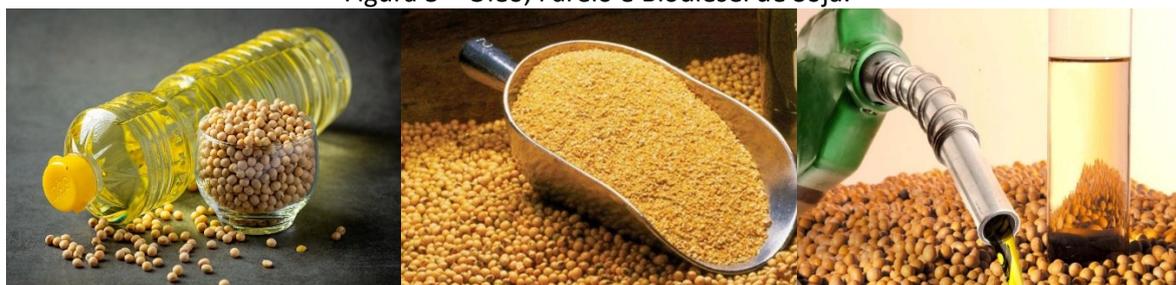
A soja destaca-se entre as principais commodities globais, sendo conhecida como o “Grão de Ouro” do século XX devido ao seu elevado valor nutritivo, com teor de proteína entre 40% e 43%. Sua versatilidade e múltiplas aplicações conferem-lhe ampla aceitação mundial. Na alimentação humana, representa uma alternativa proteica não láctea, especialmente indicada para intolerantes à lactose e diabéticos. Além disso, é amplamente utilizada na nutrição animal e em diversos setores industriais, como o químico, cosmético e de biocombustíveis.

O óleo de soja (figura 3) é um subproduto resultante do esmagamento dos grãos, sendo amplamente utilizado como matéria-prima na indústria alimentícia para a produção de óleo refinado, gorduras hidrogenadas, margarinas, maioneses, entre outros derivados. Além do uso alimentar, o óleo também é empregado na fabricação de produtos industriais, como tintas, lubrificantes, solventes, plásticos e resinas. Dentre seus componentes, destaca-se a lecitina, um agente emulsificante aplicado em alimentos como salsichas, sorvetes, barras de cereais e suplementos nutricionais. Mais recentemente, o óleo de soja tornou-se a principal fonte para a produção de biodiesel no Brasil.

O farelo de soja (figura 3) é um subproduto obtido a partir da extração do óleo, sendo produzido pela moagem de flocos de soja previamente descascados e desengordurados. Apesar de sua classificação como subproduto, constitui a fração mais lucrativa da indústria oleaginosa, com seu valor de mercado variando conforme o teor proteico, que geralmente oscila entre 43% e 48%. Seu principal uso é na formulação de rações destinadas à alimentação de bovinos, suínos, aves, equinos e animais de estimação.

No Brasil, todo o diesel (figura 3) comercializado nos postos contém uma fração de biodiesel — um combustível renovável e ambientalmente mais sustentável, com elevado potencial para substituir derivados de petróleo e contribuir para cenários energéticos mais equilibrados a longo prazo. Historicamente, a principal matéria-prima utilizada na produção do biodiesel brasileiro é o óleo de soja, responsável por aproximadamente 70% do volume total destinado à fabricação desse biocombustível.

Figura 3 – Óleo, Farelo e Biodiesel de Soja.



Fonte: Google imagens.

A soja gera também diversos subprodutos voltados à alimentação humana, entre os quais se destacam:

- Farinha de soja, amplamente utilizada na indústria de panificação (pães, bolos, tortas), é também uma alternativa econômica e vegetal em substituição a ingredientes de origem animal.

- Leite de soja (extrato proteico), com elevado teor de proteínas e isento de lactose, é ideal para intolerantes e representa uma opção viável em dietas veganas, com menor custo de produção em relação ao leite de vaca.

- Proteína texturizada de soja (PTS), obtida do farelo desengordurado moído e texturizado, também conhecida como carne vegetal, destaca-se pela versatilidade culinária e valor nutricional.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de sua expressiva trajetória histórica, notável adaptabilidade às condições edafoclimáticas brasileiras e ampla gama de aplicações agroindustriais, a soja consolida-se como uma das culturas mais estratégicas para o agronegócio nacional e internacional. Sua relevância transcende a produção de grãos, estendendo-se à geração de subprodutos essenciais para a alimentação humana e animal, além de desempenhar papel fundamental na matriz energética renovável do país. Assim, compreender os aspectos botânicos, produtivos e econômicos da soja é essencial para fomentar a sustentabilidade e a competitividade dessa cadeia produtiva no cenário global.

## REFERÊNCIAS

- Aprosoja Brasil. A Soja. 2021. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/#:~:text=Al%C3%A9m%20do%20gr%C3%A3o%20como%20alimento,beb%C3%AAs%20e%20muitos%20alimentos%20diet%C3%A9ticos>. Acesso em: 15/06/2025.
- Aprosoja MT. A história da soja. 2022. Disponível em: <http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-da-soja>. Acesso em: 15/06/2025.
- Bianco, S. et al. Acúmulo de massa seca e de macronutrientes por plantas de *Glycine max* e *Solanum americanum*. Planta Daninha, v. 30, n. 1, p. 87-95, 2012.
- Bonato, E. R.; Bonato, A. L. V. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1987. 61p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 21).
- Campagnaro, Noéli, et al. "A produtividade da soja e seu resultado associado às condições ambientais: revisão de literatura. Observatório de La Economía Latinoamericana, v.23, n.1, p. 01-25. 2025.
- Cavalcante, L. T. C.; Oliveira, A. A. S. Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. Psicologia em Revista. v.26, n.1, p.83-102, 2020.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Portal de Informações Agropecuárias. Acesso em: 16/06/2025.
- Da Silva, A. S; Simonetti, A. P. M. M. Avaliação de diferentes cultivares de soja no município de Braganey-PR. Revista Cultivando o Saber, v.17, p12-20, 2024.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. História da Soja. 2010. disponível em:< <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia> > Acesso em: 16/06/2025.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de produção de soja na região central do Brasil 2004. 2005. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/451526/tecnologiasde-producao-de-soja---regiao-central-dobrasil-2004>> Acesso em: 14/06/2025.

- Fehr, W. R.; Caviness, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, p. 11, 1977.
- Globo rural. Quem são os maiores produtores de soja do mundo. 2024. <https://globorural.globo.com/agricultura/soja/noticia/2024/10/quem-sao-os-maiores-produtores-de-soja-do-mundo-veja-ranking.ghtml>. Acesso em: 14/06/2025.
- Hirakuri, M. H.; Lazzarotto, J. J. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa-Soja, 2014.
- Kiihl, R.A.S. & A. Garcia. The use of the long juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: Conferencia Mundial de Investigacion en Soja, 4. Actas. A.J. Pascale. v.4, p.994-1000. 1989.
- Mais Agro. Soja no Brasil: origem, evolução e importância econômica. 2024. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobre-agro/soja-no-brasil-origem-evolucao-e-importancia-economica/#>. Acesso em: 17/06/2025.
- Montoya, M. A. et al. Uma Nota Sobre Consumo Energético, Emissões, Renda e Emprego na Cadeia de Soja no Brasil. Revista Brasileira de Economia, v. 73, n. 3, p345–369. 2019.
- Müller, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A soja no Brasil. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 65-104, 1981.
- Ramos, A. H. Grãos de soja fermentados, ardidados e queimados: implicações nas frações lipídicas, proteicas e bioativos. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. 2019. 82 p.
- Sediyama, T.; Pereira, M. G.; Sediyama, C. S.; Gomes, J. L. L. Botânica, descrição da planta e cruzamentos artificial. In: Cultura da Soja – I parte. Viçosa: UFV, p. 5-6, 1985.
- Shigunov Neto, A. O que se pesquisa em educação em astronomia: uma análise do periódico Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia no período compreendido de 2004 a 2019. Revista Internacional de Pesquisa em Didática das Ciências e Matemática, v.2, p.e021002, 2021.
- Verneti, F. J.; Junior, F. J. V. Genética da soja: caracteres quantitativos e diversidade genética. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 221, 2009.

# CAPÍTULO V

## COMO A CRISE CLIMÁTICA AFETA O CRESCIMENTO VEGETAL? UMA REVISÃO DOS IMPACTOS E ATENUADORES DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS

### HOW CLIMATE CRISIS AFFECT PLANT GROWTH? A REVIEW OF IMPACTS AND ATTENUATORS OF WATER STRESS

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-5

Hiago Felipe Cardoso Pacheco<sup>1</sup>

Joathan Cipriano Castro<sup>2</sup>

Lídia da Silva Amaral<sup>1</sup>

Glauco André dos Santos Nogueira<sup>3</sup>

José Rozendo de Lima Silva<sup>4</sup>

Marcos Alexandre Vieira Nascimento Filho<sup>5</sup>

Julia Isabella de Matos Rodrigues<sup>6</sup>

Cândido Ferreira de Oliveira Neto<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Doutorado em Ciência Florestal (em andamento) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa- PPGCF/UFV

<sup>2</sup> Mestrado em Uso Sustentável dos Recursos Naturais em Regiões Tropicais (em andamento) – Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável - ITV

<sup>3</sup> Doutorado em Ciências Florestais - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia - PPGCF/UFRA

<sup>4</sup> Mestrado em Agronomia (em andamento) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia - PGAGRO/UFRA

<sup>5</sup> Graduando em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

<sup>6</sup> Doutorado em Ciências Florestais (em andamento) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia - PPGCF/UFRA

<sup>7</sup> Professor do Instituto de Ciências Agrárias. Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

## RESUMO

A água é um elemento essencial para as plantas, atuando em processos fisiológicos vitais para a perpetuação da produção agroflorestal, como a fotossíntese, a absorção e o transportes de nutrientes. Ademais, o excesso ou a escassez deste elemento, causa limitações e afeta negativamente características metabólicas, fisiológicas, bioquímicas e anatômicas. Sendo assim, o objetivo desta revisão é compilar informações sobre os impactos e formas de combate do estresse hídrico nas plantas. O estresse hídrico pode ocorrer de forma natural, porém tem se intensificado por conta das mudanças climáticas. A escassez hídrica interfere diretamente no crescimento das plantas, por conta disso, as plantas adotam estratégias adaptativas, como a redução de área foliar e fechamento estomático, diminuindo assim a perda

de água. O estresse hídrico por excesso de água influencia majoritariamente no desenvolvimento radicular, e na parte aérea do indivíduo, promovendo murchamento, diminuição da fotossíntese, concentração de nutrientes nas folhas e retardo no crescimento devido a insuficiência de oxigênio. As plantas podem apresentar a aceleração de suas atividades fenológicas, e aumento de produtividade como forma de adaptação a solos alagados. Com o avanço das pesquisas, diversos atenuadores foram descobertos como forma de combate aos efeitos do estresse hídrico, como a utilização de hormônios, como a auxina, o brassinosteróide, elementos como silício, e produtos de origem vegetal como o biochar, que ajudam na tolerância ao estresse hídrico, proporcionando o pleno funcionamento das atividades fisiológicas, aumentando a produção de biomassa e a retenção hídrica.



**Palavras-chave:** Água. Fisiologia do estresse. Espécies arbóreas. Escassez. Excesso.

## ABSTRACT

Water is an essential element for plants, acting in vital physiological processes for the perpetuation of agroforestry production, such as photosynthesis, absorption and transport of nutrients. Furthermore, the excess or scarcity of this element causes limitations and negatively affects metabolic, physiological, biochemical and anatomical characteristics. Therefore, the objective of this review is to compile information on the impacts and ways to combat water stress on plants. Water stress can occur naturally, but it has been intensified due to climate change. Water scarcity directly interferes on plant growth, which is why plants adopt adaptive strategies, such as reducing leaf area and closing

stomata, thus reducing water loss. Water stress due to excess water mainly influences root development and the aerial part of the individual, promoting wilting, decreased photosynthesis, nutrient concentration in leaves and growth retardation due to insufficient oxygen. Plants can accelerate their phenological activities and increase productivity as a way of adapting to flooded soils. With the advancement of research, several attenuators were discovered as a way to combat the effects of water stress, such as the use of hormones, such as auxin, brassinosteroid, elements such as silicon, and plant-based products such as biochar, which helps increase tolerance to water stress, providing full functioning of physiological activities, increasing biomass production capacity and water retention potential.

**Keywords:** Water. Stress physiology. Tree species. Scarcity. Excess.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os anos 1950 a ocorrência mais frequente de eventos extremos, como secas e altas taxas de precipitação, tem alta influência de atividades antrópicas, o que causa consequências graves como insegurança alimentar e hídrica severas, principalmente em regiões de maior vulnerabilidade social e climática, como América do Sul, América Central, África e Ásia, regiões nas quais a mortalidade por eventos climáticas extremos foi 15 vezes maior do que em áreas menos vulneráveis entre 2010 e 2020 (IPCC, 2023). Eventos extremos sucessivos tendem a ocorrer com menor intervalo de tempo com o aumento da temperatura global, com estimativas de mais de 15 eventos sucessivos de secas e inundações a cada 30 anos até o fim do século (Zhou *et al.*, 2023). Além da frequência elevada, regiões como América do Sul e do Norte, Oeste africano, Oriente Médio, Austrália e Ásia sofrerão secas mais prolongadas na medida em que se agrava a crise climática, o que provoca mudanças na disponibilidade dos recursos hídricos de superfície, subterrâneos e no solo (Ndehedehe *et al.*, 2023), uma vez que a cada 0,5° C de aumento na temperatura global, é aumentada também a frequência e a intensidade das secas (Yu *et al.*, 2023).

No território brasileiro, por questões de padrões climáticos naturais, a seca é recorrente em diversas regiões, especialmente na região nordeste do país, que é a mais impactada (Fernandes *et al.*, 2021; Batista, 2022). No entanto, os prejuízos das mudanças do clima acarretam consequências avassaladoras também para a Amazônia, bioma situado na região Norte do Brasil, tendo 41,1% de todo território amazônico sido afetado por secas no

período de 2001 a 2018, o que possibilita o surgimento de mega queimadas e compromete o estoque de biomassa da floresta, ocorrendo perda em curto prazo de até 8% do carbono estocado (Lapola *et al.*, 2023). Eventos extremos têm se intensificado pelo menos desde 2010 na região amazônica, com inundações que custaram até 200 milhões de dólares e danos de até 15 milhões de reais por evento ao poder público no Acre, estado amazônico que mais obteve custos com desastres climáticos (Silva *et al.*, 2023). Os impactos das secas e das enchentes vão além do aspecto ambiental e possuem também consequências sociais e econômicas, dado que afetam o desenvolvimento pleno dos vegetais e, conseqüentemente, a comercialização de produtos agroflorestais (Campos, 2017).

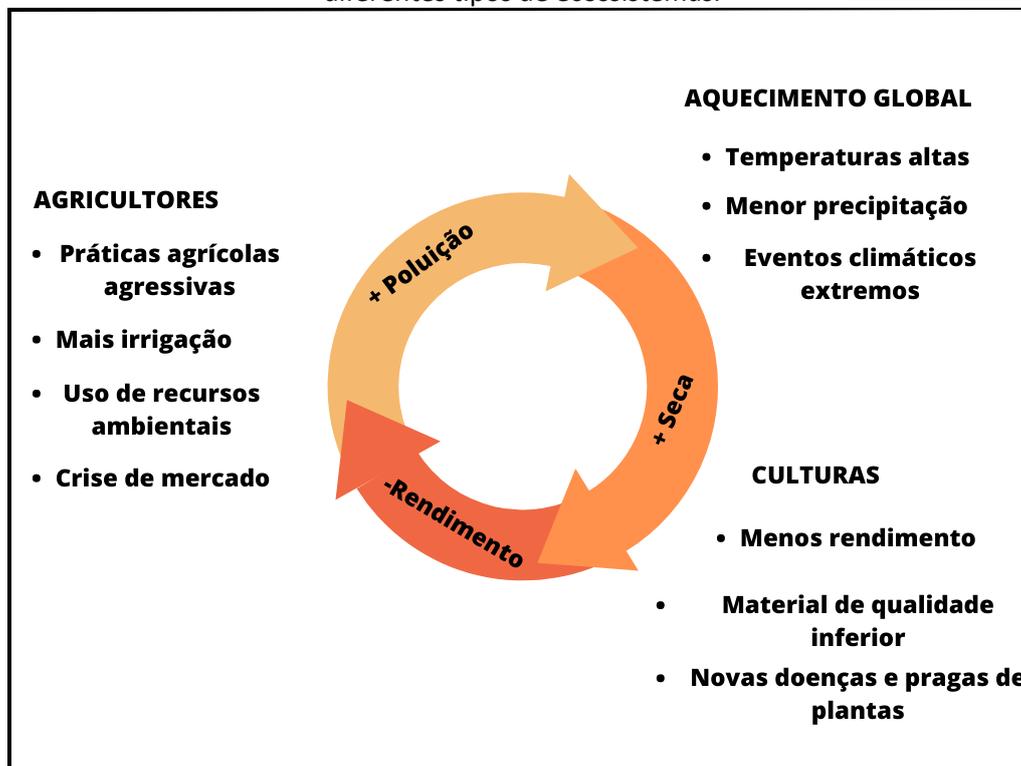
A água é um recurso indispensável para as plantas, já que constitui cerca de 95% da biomassa vegetal e atua em diversos processos fisiológicos, químicos e biológicos, sendo seu manejo essencial para a produção agrícola e florestal, uma vez que o estresse hídrico, caracterizado pela falta ou excesso de água, causados principalmente pelas mudanças climáticas, podem afetar diretamente a produtividade das colheitas (Bester *et al.*, 2024). A intensidade e duração do estresse hídrico, além do estágio de desenvolvimento e espécie, são alguns dos fatores que interferem na magnitude do impacto do excesso ou falta de água nas plantas, causando respostas como o fechamento dos estômatos e redução da expansão foliar (Akula *et al.*, 2024). Desta forma, visando o avanço do combate ao estresse hídrico nas plantas, esta revisão buscou compilar informação sobre o impacto do estresse hídrico, tanto por escassez, quanto por excesso de água nas plantas, bem como sobre as técnicas utilizadas para reverter esta situação no setor agroflorestal.

## 2. ESTRESSE HÍDRICO

Com a intensificação de queimadas, desmatamento, queima de combustíveis fósseis e decomposição de lixo, as concentrações de gases na atmosfera terrestre vem aumentando e intensificando o aquecimento global (Lohberger *et al.*, 2018). Gases como o monóxido de carbono, óxido nitroso e o metano estão presentes de forma natural na atmosfera, contudo, alterações na emissão destes gases aceleram o aumento da temperatura terrestre (Raihan, 2023), causando impactos diretos no ciclo hidrológico mundial, podendo haver elevações no nível do mar, desarranjo na circulação das correntes oceânicas, aumento nas taxas de precipitação, maior incidência de secas e inundações, e perturbações no ciclo de carbono (Bianchi, 2016). As mudanças climáticas geram alterações nos ecossistemas, na

biodiversidade, na saúde humana, na produção agroflorestal e de energia (figura 1), influenciando mudanças inclusive nos sistemas de manejo de diversas culturas em decorrência das alterações nos regimes de chuva e estiagem (Carlos, 2019).

Figura 1 – Esquema representativo do aquecimento global e a influência desse fenômeno em diferentes tipos de ecossistemas.



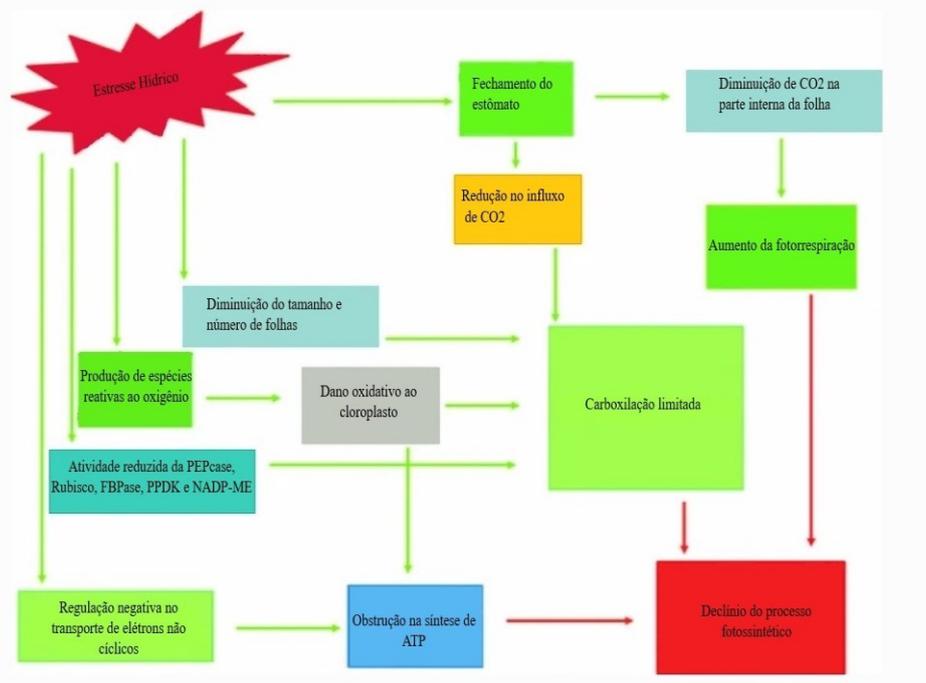
Fonte: Adaptado de Melelli *et al.*, (2022).

O estresse hídrico é causado tanto pela escassez de água quanto pelo excesso, e está ligado diretamente às alterações nas taxas pluviométricas e as condições edáficas do local, o que desencadeia estratégias de sobrevivência por meio de mudanças fisiológicas, bioquímicas e/ou morfológicas nas plantas (Campos, 2021). Essas mudanças na disponibilidade hídrica geram consequências diretas às plantas, como a diminuição do potencial hídrico, redução da condutância dos estômatos, e consequente desaceleração do crescimento, uma vez que, em face do estresse hídrico, o vegetal tende a reduzir a taxa fotossintética para manter água nos tecidos (Camoglu *et al.*, 2024), ou em caso de excesso de água, o que ocorre é a supressão da respiração e da atividade radicular pela falta de oxigênio (Pan *et al.*, 2021). A diminuição do ritmo de crescimento gera perdas no potencial agrícola das plantas, influenciando diretamente no meio social, econômico e ambiental da população que depende direta ou indiretamente da agricultura (ZHAO *et al.*, 2020).

### a) Estresse por escassez hídrica

A escassez hídrica provoca alterações anatômicas, fisiológicas e bioquímicas nas espécies vegetais como tentativa de sobrevivência, tais como redução das taxas de crescimento, fotossíntese e renovação foliar, o que leva à mortalidade do vegetal em casos severos (Duarte, 2019). Além disso, com o fechamento dos estômatos, ocorre a redução da transpiração e da perda de água, gerando menor disponibilidade de CO<sub>2</sub> para a realização da fotossíntese, diminuindo também o acúmulo de biomassa (Barros *et al.*, 2020). De maneira geral, os vegetais apresentam mecanismos fisiológicos para resistir a períodos de escassez hídrica (Figura 2), que podem resultar em alterações nas trocas gasosas, índice de clorofila e fluorescência da clorofila, sendo essas estratégias essenciais para adaptação em períodos de déficit hídrico, principalmente em regiões em que a seca pode perdurar por vários meses (Silva-Pinheiro *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017). Outro meio de defesa das plantas é a redução da área foliar, o qual tem o objetivo de evitar a perda de água para a atmosfera via transpiração, causando diminuição no crescimento, na interceptação de luz e nas trocas gasosas (Silva-Pinheiro *et al.*, 2016; Queiroz *et al.*, 2019; Barros *et al.*, 2020).

Figura 2 – Mecanismos de resposta e prejuízos causados pelo estresse hídrico em plantas.



Fonte: Adaptado de Farooq *et al.*, (2012).

Fatores como aumento da temperatura podem intensificar o prejuízo da escassez hídrica, uma vez que a falta de água e o consequente fechamento dos estômatos impede o aumento das trocas gasosas que auxiliam na regulação da temperatura (Abdelhakim *et al.*,

2021). Além disso, o aumento do déficit de pressão de valor (DPV), causado pelo aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar em períodos secos, é um fator determinante na resposta das plantas a cenários de seca, visto que tem ação direta e dominante no fechamento dos estômatos e redução da evapotranspiração, o que reafirma a alta relação entre estresse hídrico e estresse por temperatura nas plantas, o que provoca um alerta ainda maior no que tange ao cenário atual de agravamento da crise climática global e as possíveis consequências dessas mudanças na produtividade das colheitas futuras (Kimm *et al.*, 2020).

A osmorregulação é um mecanismo essencial para a sobrevivência das espécies vegetais frente a estresses abióticos como a falta de água, sendo definido como o acúmulo de solutos que ajudem na manutenção do turgor das células, da taxa fotossintética, condutância estomática, volume de água nas folhas e o crescimento da planta frente a intempéries climáticas (Liao *et al.*, 2022). Carboidratos solúveis, proteínas, aminoácidos livres, glicina betaína e prolina são apenas alguns dos solutos, ou osmólitos, que agem contra os danos do estresse hídrico, protegendo a integridade da membrana, estabilizando enzimas e proteínas e reduzindo a intoxicação pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio provenientes do estresse hídrico (Ozturk *et al.*, 2021).

#### **b) Estresse por excesso hídrico**

O suprimento hídrico é um dos fatores de maior importância na agricultura, uma vez que é indispensável a atividades básicas das plantas, como fotossíntese, expansão celular, abertura estomática e transporte de nutrientes (Taiz *et al.*, 2017). No entanto, o excesso de água também provoca prejuízos a produtividade das culturas, pois solos inundados se tornam anóxicos e provocam a redução da respiração pelas raízes por falta de oxigênio, o que causa diminuição da capacidade fotossintética, mudanças na estrutura celular e comprometimento da integridade da mitocôndria e das atividades oxidativas e de fosforilação (LIAO; LIN, 2001), sendo esses prejuízos refletidos na falha do desenvolvimento radicular e aéreo do indivíduo, além de murchamento e retardo no crescimento (Duarte, 2019). Além disso, o excesso de água potencializa o efeito de doenças, lixiviação dos nutrientes e redução da produtividade, podendo gerar a morte da planta e impacto substancial na renda do produtor afetado (Jacinto Júnior *et al.*, 2019).

A saturação hídrica do solo pode provocar uma rápida diminuição nos níveis de oxigênio disponíveis, especialmente em áreas inundadas periodicamente, nas quais mesmo

plantas adaptadas a esse cenário sofrem diversos danos, visto que a hipóxia pela falta de oxigênio obriga o vegetal a produzir energia por meio da glicólise e da fermentação, o que causa acúmulo de compostos nocivos como etanol e ácido lático, e conseqüentemente, diminuição na produção de biomassa e danos ao aparato fotossintético (Jensen, Eller e Sorrell, 2024).

### 3. IMPACTOS DO ESTRESSE HÍDRICO EM ESPÉCIES ARBÓREAS: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E ANATÔMICAS

#### a) Estresse por escassez hídrica

Como uma estratégia para tolerância à seca, há uma redução na área foliar e o fechamento dos estômatos, porém apesar de ocorrer uma diminuição no índice de clorofila e na eficiência quântica efetiva do fotossistema II, as atividades fotoquímicas continuam ativas durante o período de seca (Estravis-Barcala *et al.*, 2020). Isso ocorre porque a atividade de enzimas como superóxido dismutase e ascorbato peroxidase retardam danos às membranas do cloroplasto, reduzindo a perda excessiva de água e garantindo a sobrevivência dos indivíduos mais jovens (Silva-Pinheiro *et al.*, 2016). Além da redução da biomassa foliar, em alguns casos o déficit hídrico ocasiona a redução na biomassa radicular, sugerindo que algumas espécies não investem no crescimento radicular como estratégia adaptativa para o acesso à água (Mendes *et al.*, 2013).

Outra estratégia das plantas para tolerar a falta de água é a redução da condutância estomática, o que afeta diretamente na taxa de transpiração e na fotossíntese e aumentam a capacidade de uso eficiente da água pelas folhas (Hatfield e Dold, 2019). Sendo assim, aumentar a eficiência do uso da água em períodos de escassez, é um atributo importante que pode aumentar a tolerância das espécies vegetais ao déficit hídrico (Mujawamariya *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2020). Adicionalmente, sabendo que a abertura dos estômatos é proporcional à quantidade de CO<sub>2</sub> exigida pelas atividades fotoquímicas e à quantidade de água perdida na transpiração, o fechamento dessa estrutura é uma ação para diminuir a transpiração e as trocas gasosas, embora tenha consequência negativas para a fixação de carbono e acúmulo de biomassa (Barros *et al.*, 2020).

Em períodos de escassez hídrica, também é possível observar o aumento no teor de prolina nas folhas de plantas, a qual é responsável por manter o turgor celular por meio da osmorregulação e a proteção das membranas e macromoléculas sob danos causados pela

dessecação (Hassan *et al.*, 2021). Ademais, esse aminoácido pode atuar como reserva de carbono e nitrogênio para posterior síntese de compostos orgânicos após reidratação (Freire, 2022), além de diminuir ao máximo o potencial hídrico celular, em relação às células das raízes, tendo a capacidade de extrair água do solo sob escassez hídrica. Dessa maneira, a prolina atua na regulação osmótica e contra os efeitos danosos produzidos por espécies reativas de oxigênio (Nascimento *et al.*, 2019).

#### **b) Estresse causado pelo excesso hídrico**

Nesse caso, o potencial hídrico foliar não é fortemente afetado, pois a manutenção desse potencial deriva do fato de que mesmo em situação de solo inundado, poderia ocorrer uma dificuldade na absorção de água, gerando uma seca fisiológica. Trabalhos realizados em uma planície inundável da Amazônia constataram a manutenção do potencial hídrico quando as espécies são submetidas ao processo de inundação (Kozłowski, 1997; Waldhoff *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2011). Por outro lado, a redução na condutância estomática pode diminuir a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, já que o estresse hídrico por excesso afeta diretamente o potencial fotossintético da planta e diminui a produção de aquaporinas, que é responsável pelo transporte de água através das membranas (Oliveira, 2017). Outro impacto é o decréscimo na atividade e regeneração da ribulose 1,5-bifosfato carboxilase (rubisco), assim levando a menor atividade fotoquímica em espécies vegetais afetadas pelo alagamento (Parolin, 2009; Parolin & Wittmann, 2010; Pareek *et al.*, 2010).

As plantas não tolerantes à anaerobiose edáfica apresentam como reação o fechamento estomático como respostas às maiores concentrações de ácido abscísico, síntese de etileno ou desidratação do tecido foliar (Jethva *et al.*, 2022). Em contrapartida, as plantas tolerantes a longos períodos de alagamento realizam uma constante manutenção das taxas de condutância dos estômatos, desenvolvendo estruturas que possibilitam a absorção de água e íons do solo, tornando possível a abertura estomática, bem como a alta porosidade do sistema radicular (Gibbs & Greenway, 2003; Pareek *et al.*, 2010). Nesse tipo de estresse a condutância estomática e a transpiração podem variar de acordo com as espécies (Larcher, 2004; Parolin, 2009; Parolin; Wittmann, 2010; Oliveira *et al.*, 2017). Por exemplo, enquanto *Tabebuia aurea* e *Cecropia pachystachya* aumentam a condutância, para *Annona glabra* L. ocorre o contrário (Mielke *et al.*, 2005; Batista *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2017).

As plantas em solos alagados possuem dificuldade de absorção de água, pois este tipo de estresse aumenta a resistência à absorção, promovendo um déficit hídrico e redução na

turgescência celular da planta, gerando uma limitação no crescimento dos tecidos, causando também uma deficiência na translocação de nutrientes do solo para o sistema radicular (Smit *et al.*, 1989; Kozlowski, 1997).

Segundo Taiz e Zeiger (2010), o crescimento vegetal também pode ser afetado pelo acúmulo de ácido abscísico nas folhas, além disso, a redução na produção e translocação de fotoassimilados para locais com maiores atividades enzimáticas, isto resulta em menores taxas fotossintéticas correlacionadas, podendo levar a diminuição da condutância estomática. Em contrapartida, algumas espécies desenvolvem estratégias quando estão submetidas a este tipo de estresse, acelerando as suas atividades fenológicas, como a espécie arbórea *Genipa americana* L. (Andrade *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 2017). Além dessa, a *Cecropia pachystachya* Trec., destaca-se pelo crescimento similar em ambiente alagado e não alagado (Batista *et al.*, 2008). Para *Tabebuia avellanadae* Lor. ex Griseb. e *Tabebuia aurea*, o excesso de água proporciona efeito negativo para o crescimento das plantas (Davanso *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2017).

Impactos para o crescimento da parte aérea foram detectados para *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl., *Havea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg., *Machaerium villosum* Vogel e *Sesbania sesban* (L.) Fawc. & Rendle, podendo ser explicado pelo aumento de etileno volátil, um dos efeitos mais perceptíveis do acúmulo de CO<sub>2</sub> no solo, limitando o desenvolvimento e a morfologia do sistema radicular (Pelecani *et al.*, 1998). Durante o período de alagamento, o percurso de etileno, 1-aminociclopropano-1-carboxylato - ACC, produzido no sistema radicular é transportado pela corrente do xilema para a parte aérea, com isso, a conversão de ACC mediado por oxigênio em etileno desencadeia as mudanças adaptativas que podem ser observadas em indivíduos arbóreos submetidos a este tipo de estresse (Jackson, 1985; Cattelan *et al.*, 2019).

Outro aspecto a ser avaliado, é que as folhas de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore, diferente das espécies agrícolas *Triticum aestivum* L., *Glycine max* (L.) e *Lycopersicon esculentum* Mill (Boru *et al.*, 2004; Reyna *et al.*; 2003; Ezin *et al.*, 2010) não apresentam sinal de clorose, o que era esperado em indivíduos sob deficiência de oxigênio (Oliveira *et al.*, 2017). Em relação a alterações morfológicas visuais, a hipertrofia das lenticelas no tronco é uma das características mais comuns em espécies que habitam locais com inundação sazonal, porém outras estruturas que facilitam a tolerância à inundação por meio

da aeração das raízes ou raízes adventícias podem ser observadas (Almeida, Tezara e Herrera, 2016).

#### 4. ATENUADORES DO ESTRESSE HÍDRICO

Existem diversos mecanismos de regulação aos estresses abióticos, dentre eles os hormônios vegetais destacam-se por serem moléculas orgânicas que desempenham função de mensageiros químicos, e que são encarregados do desenvolvimento e crescimento dos tecidos vegetais, além de serem mediadores na comunicação intercelular (Andrade *et al.*, 2021). A auxina é um dos principais hormônios, pois atua sobre as ligações entre as microfibrilas de celulose da parede celular, permitindo a entrada de água nas células e aumentando as suas dimensões, além de auxiliar em outros processos de adaptação como o surgimento de aerênquimas (Yamauchi *et al.*, 2020). Os hormônios também proporciona regulação no crescimento da parte aérea e das raízes, além de permitir um controle positivo na arquitetura do sistema radicular, e expressa genes responsivos ao metabolismo das espécies reativas de oxigênio e homeostase metabólica em condições de déficit hídrico (Cato *et al.*, 2013; DU *et al.*, 2013; SHI *et al.*, 2014).

A auxina também induz respostas fisiológicas e anatômicas em relação aos efeitos da escassez hídrica, atuando principalmente na arquitetura das raízes, de modo a minimizar a perda e maximizar a absorção de água (Karlova *et al.*, 2021). Já o ácido salicílico protege as plantas em condições de déficit hídrico, tendo em vista a capacidade antioxidante e a diminuição no nível de peroxidação de lipídeos, o que resulta na estabilidade das membranas, podendo promover o aumento no acúmulo de biomassa e da capacidade fotoquímica da planta (Azooz; Youssef, 2010; Nóbrega, 2021). O brassinosteróide vem mostrando eficiência contra os efeitos da seca em diferentes culturas agrícolas, como *Cucumis sativus*, *Glycine max* L., *Zea mays*, *Oryza sativa*, *Carica papaya* L., aumentando a tolerância à seca e minimizando a perda de rendimento. Isso porque os hormônios reforçam as atividades enzimáticas antioxidantes, os teores de proteínas, água e prolina, podendo proporcionar aumento na área foliar e massa seca da planta (Pustovoitova *et al.*, 2001; ZHANG *et al.*, 2008; Anjum *et al.*, 2011; Farooq *et al.*, 2010; Gomes *et al.*, 2013).

Além dos hormônios, elementos químicos como o silício (Si) proporcionam benefícios aos vegetais por meio do aumento na produtividade das demais variadas culturas, redução do excesso de metais pesados, aumento da tolerância a situações de estresse, melhoria da

eficiência do uso de água pela planta e auxílio na mitigação do efeito do estresse oxidativo (Rodrigues *et al.*, 2011; Ferraz *et al.*, 2015; Zanetti *et al.*, 2016). O uso do biocarvão (*biochar*) também vem se mostrando como um produto eficiente para a correção do solo, e influenciando em diversas propriedades e processos do solo, pois além de aumentar a disponibilidade de nutrientes, e a atividade microbiana, tem potencial para a retenção de água do solo, podendo ser utilizado como atenuador dos efeitos do estresse hídrico nas plantas (Lard *et al.*, 2010; Basso *et al.*, 2013; Figueiredo *et al.*, 2017; YU *et al.*, 2017).

## REFERÊNCIAS

- ABDELHAKIM, L. O. A. *et al.* The effect of individual and combined drought and heat stress under elevated CO<sub>2</sub> on physiological responses in spring wheat genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 301–314, 1 maio 2021.
- AKULA, N. N. *et al.* Plant responses to co-occurring heat and water deficit stress: A comparative study of tolerance mechanisms in old and modern wheat genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 210, p. 108595, 2024.
- ALMEIDA, J.; TEZARA, W.; HERRERA, A. Physiological responses to drought and experimental water deficit and waterlogging of four clones of cacao (*Theobroma cacao* L.) selected for cultivation in Venezuela. **Agricultural Water Management**, v. 171, p. 80–88, 2016.
- ANDRADE, A. *et al.* Comparative hormonal and metabolic profile analysis based on mass spectrometry provides information on the regulation of water-deficit stress response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines with different water-deficit stress sensitivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 168, p. 432–446, 2021.
- ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE, L. L.; AND ZOU, C. M. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 177–185, 2011.
- AZERÊDO, G. A. de; PAULA, R. C. de; VALERI, S. V. Germinação de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. sob estresse hídrico. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 193-202, 2016.
- AZOOZ, M. M.; YOUSSEF, M. M. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. **American Journal of Plant Physiology**, v. 5, n. 2, p. 56-70, 2010.
- BARROS, V; MELO, A; SANTOS, M; NOGUEIRA, L; FROSI, G; SANTOS, M. G. Different resource-use strategies of invasive and native woody species from a seasonally dry tropical forest under drought stress and recovery. **Plant Physiology and Biochemistry**, 147: 181-190. 2020.

- BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 91–98, mar. 2008.
- BATISTA, D. F.; ALBUQUERQUE, T. M. A. Impacto da Seca na Agricultura dos Territórios Agreste Central, Alto Sertão e Centro-Sul de Sergipe. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 81-88, 2022.
- BESTER, A. U. *et al.* Physiological mechanisms of cross-stress and memory in soybean plants subjected to water deficit and waterlogging. **Environmental and Experimental Botany**, v. 222, p. 105749, 2024.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. DE A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.
- BORU, G.; VAN GINKEL, M.; KRONSTAD, W. E.; BOERSMA, L. Expression and inheritance of tolerance to waterlogging stress in wheat. **Euphytica**, v. 117, p. 91–98, 2004.
- IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- CAMOGLU, G.; DEMIREL, K.; KAHRIMAN, F. *et al.* Plant-based monitoring techniques to detect yield and physiological responses in water-stressed pepper. **Agricultural Water Management**, v. 291, p. 108628, 2024.
- CAMPOS, A. J. M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 15, pág. e311101523155-e311101523155, 2021.
- CAMPOS, T. L. de O. B.; SANTOS, A. P. P. dos. Frequência dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 468-478, 2017.
- CARLOS, S. de M.; CUNHA, D. A. ; PIRES, M. V. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 455-471, 2019.
- CATO, S. C.; MACEDO, W. R.; PERES, L. E. P.; CASTRO, P. R. C. Sinergism among auxins, gibberellins and cytokinins in tomato cv. Micro-Tom. **Hortic Bras**, 31:549-553. doi: 10.1590/S0102-05362013000400007. 2013.
- CATTELAN, A. J.; FANTINATO, GGP; DE OLIVEIRA, M. C. N. Minimização dos efeitos do alagamento sobre soja por bactérias supressoras de etileno. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 37., 2019, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Documentos, 413), 2019.

- DU, H.; LIU H.; XIONG, L. Endogenous auxin and jasmonic acid levels are differentially modulated by abiotic stresses in rice. **Front Plant Sci** 4(397):1-10. doi: 10.3389/fpls.2013.00397. 2013.
- DUARTE, C. F. D.; PROCHERA, D. L.; PAIVA, L. M.; FERNANDES, H. J.; BISERRA, T. T.; CASSARO, L. H.; FLORES, L. S.; FERNANDES, R. L. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1669–1676, 28 out. 2019.
- ESTRAVIS-BARCALA, M. *et al.* Molecular bases of responses to abiotic stress in trees. **Journal of Experimental Botany**, Oxford University Press, 26 jun. 2020.
- FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K.H. Drought stress in plants: an overview. In: R. Aroca (Ed), Plant responses to drought stress. Springer, Berlin, Germany, p. 1-33, 2012.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: Effects mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.
- FERNANDES, V.R.; CUNHA, A.P.M.A.; PINEDA, L.A.C.; LEAL, K.R.D.; COSTA, L.C.O.; BROEDEL, E.; FRANÇA, D.A.; ALVALÁ, R.C.S.; SELUCHI, M.E.; MARENGO, J. Secas e os impactos da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 561-584, 2021.
- FERRAZ, R. L. S.; MAGALHÃES, I. D.; BELTRÃO, N. E. M.; NETO, J. F. B.; ROCHA, M. S. Photosynthetic pigments, cell extrusion and relative leaf water content of the castor be anunder silicone and salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.9, p.841–8.
- GOMES, M. A.; NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; SMITH, R. B.; ZULLO. M. A. T.; FERRAZ, T. M.; SIQUEIRA, L. N.; LEAL, N. R.; VÁZQUEZ, M. N. Brassinosteroid analogue affects the senescence in two papaya genotypes submitted to drought stress. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, n. 3, p. 186-195, 2013.
- HASSAN, M. A. E.; SANTHOSHKUMAR, A. V.; HRIDEEK, T.K.; JIJESH, C. M.; JOSEPH, J. Variability in drought response among the plus tree accessions of *Tectona grandis* (Linn f.) from the provenances of Kerala, South India. **Acta Physiologiae Plantarum** 43:47. 2021.
- HATFIELD, J. L.; DOLD, C. Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019.
- JACINTO JÚNIOR, S. G. *et al.* Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 413–422, 21 set. 2019.
- JENSEN, A. B.; ELLER, F.; SORRELL, B. K. Comparative flooding tolerance of *Typha latifolia* and *Phalaris arundinacea* in wetland restoration: Insights from photosynthetic CO<sub>2</sub> response curves, photobiology and biomass allocation. **Heliyon**, v. 10, n. 1, p. e23657, 2024.

- JETHVA, J. *et al.* Try or Die: Dynamics of Plant Respiration and How to Survive Low Oxygen Conditions. **Plants**, v. 11, n. 2, 2022.
- KARLOVA, R.; BOER, D.; HAYES, S.; TESTERINK, C. Root plasticity under abiotic stress. **Plant Physiology**, v. 187, n. 3, p. 1057–1070, 3 nov. 2021.
- KIMM, H. *et al.* Redefining droughts for the U.S. Corn Belt: The dominant role of atmospheric vapor pressure deficit over soil moisture in regulating stomatal behavior of Maize and Soybean. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 287, p. 107930, 2020.
- KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, Victoria, v. 1, n. 1, p. 1-29, 1997.
- LAPOLA, D. M. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, p. eabp8622, 2023. LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.
- LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council: Republic of China Part B**, v. 25, n. 3, p. 148-157, Jul. 2001.
- LIAO, Q. *et al.* Mild water and salt stress improve water use efficiency by decreasing stomatal conductance via osmotic adjustment in field maize. **Science of The Total Environment**, v. 805, p. 150364, 2022.
- LOHBERGER, S. *et al.* Spatial evaluation of Indonesia's 2015 fire-affected area and estimated carbon emissions using Sentinel-1. **Global Change Biology**, v. 24, n. 2, p. 644–654, 1 fev. 2018.
- MELELLI, A.; DURAND, S.; ALVARADO, C.; KERVOËLEN, A.; FOUCAT, L.; GRÉGOIRE, M.; ARNOULD, O.; FALOURD, X.; CALLEBERT, F.; OUAGNE, P.; GEAIRON, A.; DANIEL, S.; JAMME, F.; MAUVE, C.; GAKIÈRE, B.; BOURMAUD, A.; BEAUGRAND, J. Anticipating global warming effects: A comprehensive study of drought impact of both flax plants and fibres. **Industrial Crops and Products**, v. 184, n. April, 2022.
- MENDES, M. M. S.; LACERDA C. F.; FERNANDES, F. É. P.; CAVALCANTE A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. Ecophysiology of deciduous plants grown at different densities in the semiarid region of Brazil. **Theoretical and Experimental Plant Physiology** 25: 94-105. 2013.
- MIELKE, M. S. *et al.* Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 905-911, 2005.
- MUJAWAMARIYA. M.; MANISHIMWE, A.; NTIRUGULIRWA, B.; BAHATI, E.N.; NYIRAMBANGUTSE, B.; NSABIMANA, D.; WALLIN, G.; UDDLING, J. Climate sensitivity of tropical trees along an elevation gradient in Rwanda. **Forests** 647: 1-19. 2018.
- NASCIMENTO, N. F.; NASCIMENTO, L. B. B.; GONÇALVES, J. F. C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1019-1032, 2019.

- NDEHEDEHE, C. E. *et al.* Global assessment of drought characteristics in the Anthropocene. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 12, p. 100105, 2023.
- NÓBREGA, J. S.; NASCIMENTO, R. G. da S.; DA SILVA, R. T. Ácido salicílico atenua o efeito do estresse hídrico na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Cereus jamacaru* DC. **Scientia Plena**, v. 17, n. 4, 2021.
- OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Paratudo) submetidas a alagamento. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 181-191, 2017.
- OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J.; BOCCHESI, R. A. Gas exchange of potted *Tabebuia aurea* plants under hydric stress. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 4, p. 641-647, 2011.
- OZTURK, M. *et al.* Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 2, p. 1321–1335, 2021.
- PAN, J. *et al.* **Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects.** *Frontiers in Plant Science* Frontiers Media S.A., 10 fev. 2021.
- PAROLIN, P. Submerged in darkness: adaptation to prolonged submergence by woody species of the Amazonian floodplains. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 2, p. 359-376, 2009.
- PAROLIN, P.; WITTMANN, F. Struggle in the flood: tree responses to flooding stress in four tropical floodplain systems. **AoB Plants**, p. 1-19, 2010.
- PELECANI, C. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; CRUZ, J. L. Respostas de algumas espécies florestais à baixa disponibilidade de oxigênio no meio de cultivo. I - Alterações em algumas características de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 61-67, 1998.
- PUSTOVOITOVA, T. N.; ZHDANOVA, N. E.; ZHOLKEVICH, V. N. Epibrassinolide increases plant drought resistance. **Doklady Biochemistry and Biophysics**, v. 376, p. 36-38, 2001.
- QUEIROZ, M. G.; SILVA T. G. F.; ZOLNIER S.; SOUZA, C. A. A.; SOUZA, L. S. B.; STEIDLE, A. J. N.; ARAÚJO. G. G. L.; FERREIRA, W. P. M. Seasonal patterns of deposition litterfall in a seasonal dry tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology** 279: 107712. 2019.
- RAIHAN, A. Nexus between greenhouse gas emissions and its determinants: The role of renewable energy and technological innovations towards green development in South Korea. **Innovation and Green Development**, v. 2, n. 3, p. 100066, 2023.
- REYNA, N.; CORNELIOUS, B.; SHANNON, J. G.; SNELLER, C. H. Evaluation of a QTL for Waterlogging Tolerance in Southern Soybean Germplasm. **Crop Science**, v. 43, n. 6, p. 2077–2082, 2003.
- RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 134, p. 14-20, 2011.

- SHI, C. L.; YE, T.; LIU, X.; DING, K.; CHAN, Z. Modulation of auxin content in Arabidopsis confers improved drought stress resistance. **Plant Physiol Biochem** 82:209-217. 2014.
- SILVA, J. M. C. DA, Leal IR & Tabarelli M. Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America. **Springer International Publishing**, Cham. Pp. 281-333. 2017.
- SILVA, S. S. DA *et al.* Amazon climate extremes: Increasing droughts and floods in Brazil's state of Acre. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 21, n. 4, p. 311–317, 1 out. 2023.
- SILVA-PINHEIRO, J.; LINS, L. K. S.; SOUZA, F. C.; SILVA, C. E. M.; MOURA, F. B. P.; ENDRES, L.; JUSTINO, G. C. Drought-stress tolerance in tree semi-arid species used to recover logged area. **Brazilian Journal of Botany** 39: 1031-1038. 2016.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 690 p.
- WALDHOFF, D.; FURCH, B. Leaf morphology and anatomy in eleven tree species from Central Amazonian floodplains (Brazil). **Amazoniana**, Kiel, v. 17, n. 1/2, p. 79-94, 2002.
- WANG, B.; ZHANG, J.; PEI, D.; YU, L. Combined effects of water stress and salinity on growth, physiological and biochemical traits in two walnut genotypes. **Physiologia Plantarum** 172: 176-187. 2020.
- YAMAUCHI, T. *et al.* A role for auxin in ethylene-dependent inducible aerenchyma formation in rice roots. **Plants**, v. 9, n. 5, 2020.
- YU, H. *et al.* A global drought-aridity index: The spatiotemporal standardized precipitation evapotranspiration index. **Ecological Indicators**, v. 153, p. 110484, 1 set. 2023.
- ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D.; GAMA, V. N.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S; CAMPOS TRINI, E.; FERRAZ, T. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. de A. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.215- 223, 2016.
- ZHANG, M.C.; ZHAI, Z. X.; TIAN, X. L.; DUAN, L. S.; LI, Z. H. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). **Plant Growth Regulation**, v. 56. n. 3, p. 257-264, 2008.
- ZHAO, W. *et al.* Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat. **Water**, v. 12, n. 8, 2020.
- ZHOU, J. *et al.* Anthropogenic climate change exacerbates the risk of successive flood-heat extremes: Multi-model global projections based on the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project. **Science of The Total Environment**, v. 889, p. 164274, 2023.

**EFEITO DA DENSIDADE DE PLANTIO NA CULTURA DA ACARIÇOBA EM SOLO DE ESTRUTURA DE GRÃO SIMPLES E AGREGADO NO MUNICÍPIO DE ANÁPOLIS – GOIÁS**



# CAPÍTULO VI

## EFEITO DA DENSIDADE DE PLANTIO NA CULTURA DA ACARIÇOBA EM SOLO DE ESTRUTURA DE GRÃO SIMPLES E AGREGADO NO MUNICÍPIO DE ANÁPOLIS – GOIÁS

### EFFECT OF PLANTING DENSITY ON ACARIÇOBA CROP IN SIMPLE AND AGGREGATED GRAIN STRUCTURE SOIL IN THE MUNICIPALITY OF ANÁPOLIS – GOIÁS

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-6

Mariana da Silva Santos<sup>1</sup>  
Patrícia Diniz de Vasconcelos<sup>1</sup>  
Vandervilson Alves Carneiro<sup>2</sup>  
João Carlos Mohn Nogueira<sup>3</sup>  
Sandra Máscimo da Costa e Silva<sup>2</sup>  
André Luiz Ribas de Oliveira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Agrícola; Universidade Estadual de Goiás, GO, Brasil.

<sup>2</sup> Docente de Ensino Superior – Adjunto da Universidade Estadual de Goiás – UEG – Sede Anápolis, Anápolis, GO, Brasil.

<sup>3</sup> Mestre em Agronomia, Centro Estadual de Referência em Medicina Integrativa e Complementar – CREMIC – Goiânia, Goiânia, GO, Brasil.

<sup>4</sup> Docente de Ensino Superior – Adjunto da Universidade Estadual de Goiás – UEG – Sede Anápolis, Coordenador do Projeto, Anápolis, GO, Brasil.

#### RESUMO

As plantas medicinais são necessárias à manutenção da saúde, principalmente das classes sociais de baixa renda. A Acariçoba (*Hydrocotyle umbellata* L.) é muito utilizada na fitoterapia brasileira e mundial. A definição de densidade populacional adequada para seu cultivo é de grande relevância. Sendo assim, foram realizados dois experimentos com solo de estruturas diferentes (grão simples e agregado). O mesmo foi conduzido em condições controladas (em viveiro) e os tratamentos foram quatro: a) 75 pl.ha<sup>-1</sup>; b) 105 pl.ha<sup>-1</sup>; c) 150 pl.ha<sup>-1</sup>; d) 180 pl.ha<sup>-1</sup>. Os parâmetros analisados foram: massa fresca subterrânea; massa fresca aérea; diâmetro foliar; quantidade de pecíolos; comprimento do pecíolo. Os resultados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. A densidade de 180 pl.ha<sup>-1</sup> é recomendada para solos com estrutura de grão simples e agregado para as variáveis: massa fresca subterrânea e quantidade de pecíolos; assim como a variável de massa fresca aérea para estrutura de agregado. Solos com estrutura de agregados apresentou valores maiores para as variáveis diferentes estatisticamente.

**Palavras-chave:** *Hydrocotyle umbellata* L; Plantas medicinais; Estrutura do solo. Agregado.

#### ABSTRACT

Medicinal plants are essential for maintaining health, especially for low-income social classes. Acariçoba (*Hydrocotyle umbellata* L.) is widely used in Brazilian and global phytotherapy. Establishing an appropriate population density for its cultivation is of great importance. Therefore, two experiments were conducted with soils of different structures (simple grain and aggregate). The experiments were carried out under controlled conditions (in a nursery) with four treatments: a) 75 plants.ha<sup>-1</sup>; b) 105 plants.ha<sup>-1</sup>; c) 150 plants.ha<sup>-1</sup>; d) 180 plants.ha<sup>-1</sup>. The analyzed parameters were: underground fresh mass; aerial fresh mass; leaf diameter; number of petioles; petiole length. The results were subjected to variance analysis, and the means were compared using the Tukey test at a significance level of 5%. A density of 180 plants.ha<sup>-1</sup> is recommended for both simple grain and aggregate soil structures for the variables: underground fresh mass and number of petioles; as well as the variable aerial fresh mass for aggregate structure. Soils with aggregate structure showed statistically higher values for the different variables.

**Keywords:** *Hydrocotyle umbellata* L; Medicinal plants; Soil structure; Aggregate.



## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de plantas medicinais no tratamento de diversas enfermidades é uma prática que surgiu nos primórdios da espécie humana, que teve suas técnicas e conhecimentos repassados de geração em geração. Para muitas pessoas essa ainda é a única fonte de medicamento, e tem sido cada vez mais recorrida, devido a busca por uma vida mais próxima ao natural com tratamentos menos invasivos.

A Acariçoba, nome popularmente dado a *Hydrocotyle umbellata* L, é uma planta com propriedades terapêuticas com potencial desde tratamentos sobre problemas gástricos, neurológicos, cardíacos, dermatológicos, hipertensão, anemia, debilidade do sistema imunológico, também utilizada no auxílio do emagrecimento, combate do envelhecimento precoce e queda de cabelo. Esses potenciais de tratamento podem ser encontrados nas folhas, pecíolo e nos rizomas da planta estudada. A *Hydrocotyle umbellata* L. é uma planta de fácil propagação devido sua rusticidade, e todas as suas partes podem ser utilizadas.

Para uma boa produção da Acariçoba, que sua fitoquímica seja atingida, é de suma importância prezar pelos fatores edafoclimáticos. Cada fator deve se interrelacionar para haver a possibilidade de chegar ao potencial genético da planta. Cada espécie tem sua particularidade nutricional. Para o desenvolvimento da Acariçoba é necessário o estudo da densidade populacional para definir sua maior capacidade produtiva.

Dessa forma, o presente trabalho teve por finalidade de avaliar a densidade populacional da acariçoba em relação ao desenvolvimento da cultura. Nos últimos tempos os trabalhos com a cultura da Acariçoba têm aumentado, conseqüentemente aumentando as informações disponíveis para definir a maior produção desta espécie utilizada na medicina.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os seres humanos têm dependido da natureza para suas necessidades básicas como sendo as fontes para medicamentos, abrigos, alimentos, fragrâncias, roupas, aromatizantes, fertilizantes e meios de transporte ao longo dos tempos (Kooti *et al.*, 2017).

Os conhecimentos tradicionais da medicina se formaram através das plantas. Elas oferecem à humanidade novos medicamentos, algumas propriedades benéficas atribuídas às plantas são reconhecidas como tratamentos de patologias graças a descobertas experimentais dos cientistas (Smith-Hall; Larsen; Pouliot, 2012). A utilização de plantas medicinais pelo homem é uma prática desde a Antiguidade para auxiliar no tratamento de

doenças por meio de chás, emplastos, emulsões, dentre outros. Atualmente, pela biodiversidade vegetal brasileira, os pesquisadores buscam conhecer as propriedades fitoterápicas e formas de plantio (Dar; Shahnawaz; Qazi, 2017).

Nas indústrias é notável a contribuição das plantas como agentes químicos, cosméticos, produtos farmacêuticos, matérias-primas industriais dentre outras (Jamshidi-Kia; Lorigooini; Amini-Khoei, 2018). Para o desenvolvimento de novas drogas, as plantas medicinais desempenham um papel dinâmico e tem provado importância no enfrentamento de inúmeras doenças mortais, incluindo câncer e as doenças associadas ao ataque viral, como hepatite e síndrome da imunodeficiência adquirida (AIDS) (Nasri; Shirzad, 2013).

Apesar da disposição de uma série de drogas modernas, é urgente a descoberta e o desenvolvimento de novos agentes terapêuticos. Estima-se que a terapia natural esteja disponível apenas para um terço das doenças humanas conhecidas. Portanto, há uma luta contra as doenças (Li *et al.*, 2020). Os medicamentos vegetais tradicionais ainda desfrutam de uma posição significativa nas indústrias farmacêuticas devido aos efeitos colaterais menores, bem como a ação sinérgica da combinação de compostos (Ali, 2021).

A pesquisa fitoquímica tem produzido recentemente soluções eficazes para certas doenças que a indústria de drogas sintéticas não conseguiu desenvolver (Petrovska, 2012). O mais importante entre eles estão os trabalhos de pesquisa em *Artimisia annua*, *Cathranthus roseus*, *Taxus spp.*, *Lantana câmara*, *Baccopa spp.* dentre outras, bem como *Hydrocotyle umbellata* L., que eram anteriormente consideradas venenosas, mas agora constatou-se moléculas de alto valor e, assim, plantas medicinais de importância mundial. Há um futuro promissor nas plantas medicinais, pois há cerca de 500 mil plantas em todo o mundo sem investigação, e seu potencial oculto de atividades metabólicas podem ser decisivas no tratamento de problemas presentes e futuros (Shakya, 2016).

Atualmente, plantas medicinais vêm sendo utilizadas como forma terapêutica para um público cada vez mais abrangente. Segundo Saltos (2016), ao passo que há avanços tecnológicos e aprofundamento de pesquisas na área, a sociedade avança na utilização das plantas e, com isso, tem obtido constantemente cada vez mais conhecimentos na área. Esse conhecimento traz o aprimoramento dessa terapia com base na localidade e costumes da população que faz o uso medicinal das plantas.

Tratando-se de plantas medicinais, a família Araliaceae possui uma fonte promissora de novos fármacos. A família apresenta 43 gêneros e 1.450 espécies presentes em regiões

tropicais e temperadas. As espécies se caracterizam por arbustos ou árvores, além de ervas, lianas e epífitas (Judd *et al.*, 2009). No Brasil há ocorrência de cinco gêneros, dos quais *Hydrocotyle* L., *Oreopanax* Desce. & Planch., *Schefflera* J.R.Forst. & G.Forst., *Hedera* L. e *Aralia* L. e 93 espécies (Souza; Lorenzi, 2012).

A morfologia das espécies de *Hydrocotyle* L. possui variação interespecífica e intraespecífica, com variação das folhas e a inflorescência (Nicolas; Plunkett, 2009). Dessas espécies do gênero, 17 estão distribuídas no Brasil, estando concentrados os estudos científicos em *H. umbellata* L., *H. bonariensis* Lam., *H. leucocephala* Cham. & Schltldl, *H. ranunculoides* L. f. e *H. verticillata* Thunb., (Fiaschi, 2015).

A espécie *Hydrocotyle umbellata* L., conhecida popularmente por acariçoba e erva-do-capitão, é uma erva perene, com prostração, herbácea e com habitat terrestre e aquático. Possui folhas pecioladas, peltadas, glabras e nervuras radiadas. Além disso, apresenta flores brancas dispostas em umbelas (Oliveira *et al.*, 2021). Os caules são do tipo estolho, sendo subterrâneos, com coloração amarelo-acastanhado, com sulcos e arestas retorcidas e longitudinais. Frequentemente, em cada nó emerge uma folha ou uma folha com inflorescência, com inúmeras raízes adventícias (Florentino *et al.*, 2013).

A *Hydrocotyle umbellata* L. é considerada revitalizante do sistema nervoso e cérebro, rejuvenescedora, anti-hipertensivo, ansiolítico, diurético e ação tônica. Há relatos também de indicação como complemento em casos de emagrecimento, anemia, deficiência do sistema imunológico, desgaste psicofísico e queda capilar. Os compostos químicos presentes nas plantas são responsáveis pelas reações nos organismos que resultam na ação terapêutica, ou seja, caracterizados como princípios ativos (Ali, 2021).

É uma planta nativa do Continente Americano, sendo encontrada em todo o território brasileiro. Possui aplicabilidades para o tratamento de úlceras na pele, eczema, psoríase, dermatite, reumatismo, erisipela e outros processos inflamatórios (Oliveira *et al.*, 2017). É importante na medicina Ayurveda devido ao poder ansiolítico e estimulante da memória. Os estudos científicos já demonstraram atividade antioxidante, antinociceptiva, ansiolítica, antiulcerogênica, sedativa do extrato etanólico das partes aéreas subterrâneas (Rocha *et al.*, 2011; Florentino *et al.*, 2013; Fiaschi, 2015).

A acariçoba dispõe de relevância na fitoterapia popular e na medicina indiana segundo Florentino *et al.* (2013), sua importância se deve ao alto potencial ansiolítico, resultados

estimulantes da memória, e também devido a sua aplicação em produtos cosméticos. As plantas/culturas são influenciadas pela densidade populacional, em produção e qualidade.

A densidade das plantas é definida como o número de plantas por unidade de uma área, sendo importante parâmetro agrícola, pois pequenas variações na densidade possuem grande influência no rendimento da lavoura (Santos *et al.*, 2019). A densidade de plantio inadequado, isto é, estande inadequado é uma das causas da baixa produtividade. Para que ocorra o aumento da densidade de plantio existem variáveis dependentes para cada situação, sendo elas aspectos próprios da semente, disponibilidade de água e de nutrientes. Alterações nesses fatores diminuem a densidade de plantio (Vismara; Oliveira; Karam, 2007).

Existe uma relação entre o nível de adubação e a densidade de plantio, principalmente com a adubação nitrogenada (Santos *et al.*, 2019). Baixa disponibilidade de nutrientes, ocorre baixos rendimentos, com densidade menor quando comparada a um plantio em solo com boa fertilidade. Assim, a densidade deverá ser aumentada para obter o máximo de rendimento e pesquisas são necessárias para obter a densidade favorável a cada plantio (Silva, 2021).

Silva; Sonnenberg; Borges (2004) avaliaram o crescimento e produção de cúrcuma com adubação mineral e densidades de plantio. O estudo mostrou que a produtividade de rizomas frescos aumentou em função do nitrogênio e fósforo sem influência para o potássio e parcelamentos de nitrogênio. Os espaçamentos maiores geraram menor produtividade.

Blank *et al.* (2007) estudaram a produção de capim-limão, comparando densidades de plantio e doses de biofertilizante. Sendo para densidade de plantio gerou curva de regressão linear crescente para óleo essencial e massa seca aérea e regressão linear decrescente para a massa seca de touceira. O biofertilizante gerou curva de regressão linear crescente para óleo essencial e massa seca aérea e de touceira. Maiores densidades e dose de biofertilizante são mais recomendados.

Sangalli *et al.* (2011) estudaram o desenvolvimento e produção da carobinha nos arranjos em fileiras simples e duplas e o uso ou não de cama-de-frango e concluíram que o cultivo em fileiras duplas foi favorável à produtividade da carobinha, porém o uso da cama de frango não influenciou em nenhum dos espaçamentos.

A densidade de plantio também é prejudicada em plantio direto, em que as condições de solo e da plantadora são ineficazes, sendo que a má distribuição das sementes, micro relevo irregular, com solo com maior teor de umidade do que o adequado, pode acarretar a

redução da densidade de plantio, assim como em emergência desuniforme e atraso no desenvolvimento inicial, devendo a plantadora ser regulada (Salomão *et al.*, 2020).

É recomendado para o aumento do plantio convencional, elevar em 20% a quantidade de sementes no plantio para sobrepor falhas de semeadura, assim como ataques de pragas e doenças do solo. A densidade de semeadura recomendada é favorecida pelo uso de sementes de melhor qualidade e de cultivares mais adaptadas ao ambiente de plantio. O enraizamento e bom vigor inicial também são aspectos consideráveis (Faria *et al.*, 2019).

Em estudos de revisão de Edmeades (2003) foi constatado que o solo com adubação orgânica possui maiores teores de matéria em decomposição, maior porosidade, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados do que solos fertilizados convencionalmente. Da mesma forma, o uso de fertilizantes inorgânicos provoca a destruição da textura e estrutura do solo, que muitas vezes leva à erosão e à acidez do solo como resultado do efeito de lixiviação de nutrientes. Tudo isso dá origem a rendimentos de colheita reduzidos como resultado de degradação do solo e desequilíbrio de nutrientes (Ojeniyi, 2000).

Com a finalidade também de estabelecer a melhor densidade de plantio, Carvalho *et al.* (2010) conduziram um experimento no município de Cariri do Tocantins-TO, utilizando-se sementes das cultivares BRS Nordestina e BRS Paraguaçu de mamona (*Ricinus communis* L.) com o objetivo de verificar o efeito de cinco densidades de plantio (2,5; 3,12; 4,16; 6,25; 12,5 mil plantas.ha<sup>-1</sup>) sobre a produtividade e características agronômicas da mamona. Dentre as populações, a de maior produtividade foi a de 12,5 mil plantas.ha<sup>-1</sup> para as duas cultivares.

Em estudo de Weber *et al.* (2016) foi avaliado a produção e a qualidade dos frutos do maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims.) em relação a diferentes densidades de plantio na região de Pelotas no Rio Grande do Sul. Os tratamentos foram estabelecidos de acordo com as seguintes densidades (plantas.ha<sup>-1</sup>): 1.600; 2.666; 3.200. O tratamento mais adensado, com 3.200 plantas.ha<sup>-1</sup>, apresentou melhor desempenho produtivo, independentemente do ciclo avaliado, isto é, do ano. A qualidade dos frutos não foi influenciada pelas densidades de plantio em nenhum ciclo avaliado.

A pesquisa de Sousa *et al.* (2019), avaliaram em dois experimentos a influência das doses de adubo orgânico e da densidade de plantio de duas espécies de quebra-pedra (*Phyllanthus amarus* e *Phyllanthus niruri*), sendo utilizada na medicina popular como diurético, no tratamento de cálculo renal e hepatite. Analisaram-se os caracteres altura de planta, diâmetro de colo, número de ramos e biomassas fresca e seca. Para *P. amarus*, houve

interação significativa entre as doses de adubo orgânico e as densidades de plantio para os caracteres altura de planta e biomassas fresca e seca. Já para *P. niruri*, os efeitos da interação não foram significativos. As densidades de plantio mais adequadas foram 0,10 a 0,14 m<sup>2</sup>.planta<sup>-1</sup> para *P. amarum* e 0,07 a 0,10 m<sup>2</sup>.planta<sup>-1</sup> para *P. niruri*.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com solos coletados na zona rural do município de Anápolis, no Estado de Goiás. A região apresenta clima tropical e de acordo com a Köppen e Geiger a classificação do clima é Aw, com altitude de aproximadamente 1000 metros (Cardoso; Marcuzzo; Barros, 2014).

O experimento teve início em 01 de agosto de 2021 com a análise do solo e posteriormente, 03 de agosto de 2021, passaram para as outras etapas do experimento, adubação, o plantio, condução da cultura, colheita e avaliação das plantas e posterior análise estatística dos dados. O solo utilizado apresentava as características adequadas ao estudo, estrutura de grão simples e estrutura de agregado.

Foram dois experimentos, cada um com o plantio das mudas em 20 jardineiras plásticas, com medidas de 45 cm X 15 cm X 15 cm. As mudas de Acariçoba foram fornecidas pelo CREMIC – Centro Estadual de Referência em Medicina Integrativa e Complementar. A cultura é perene e permaneceu por 90 dias, onde passou a retirada de todas as plantas dos vasos e seguindo a pesagem, contagem e medição das plantas, ou seja, a avaliação das plantas.

As 20 parcelas, de cada experimento, contaram com um total de 04 tratamentos e os tratamentos contaram com cinco repetições cada. Os tratamentos foram: a) 75 mudas.m<sup>-2</sup>; b) 105 mudas.m<sup>-2</sup>; c) 150 mudas.m<sup>-2</sup>; d) 180 mudas.m<sup>-2</sup>. Os tratamentos culturais realizados de acordo com a necessidade da cultura durante todo o período do experimento.

O manejo foi realizado manualmente, com controle de ervas daninhas e pragas pelo arranquio e catação. A rega acontecia nos dias em que as plantas necessitavam de reposição hídrica, sendo que a irrigação era de salvamento. A cultura não é exigente de fornecimento hídrico e o excesso de água prejudica a cultura.

Foram avaliadas as seguintes características: Massa fresca subterrânea (g.vaso<sup>-1</sup>), Massa fresca aérea (g.vaso<sup>-1</sup>), Diâmetro da folha (cm), Comprimento do pecíolo (cm) e Quantidade de pecíolos (un.vaso<sup>-1</sup>).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, por ser o mais adequado para as condições de realização deste experimento, em ambiente controlado, (Banzatto; Kronka, 1989). Os dados foram submetidos a análise de variância, a comparação de média pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas para o experimento 01 (estrutura de grão simples) e experimento 02 (estrutura de agregado).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ESTRUTURA DE GRÃO SIMPLES

Os dois experimentos foram colhidos no dia 05 de novembro de 2021, em seguida foram determinadas a massa fresca aérea, massa fresca subterrânea, diâmetro foliar, comprimento do pecíolo e quantidade de pecíolos. Os dados (médias) foram avaliadas pelo teste F de comparação das médias, conforme as tabelas 1 e tabela 2.

A tabela 1 refere-se ao solo de estrutura de grão simples e a tabela 2 para o solo de estrutura de agregados. Após cada tabela há as respectivas discussões.

Tabela 1. Comparação de média pelo teste TUKEY para determinação da massa fresca subterrânea (g), massa fresca aérea (g), diâmetro dos pecíolos (cm), comprimento (cm) e quantidade dos pecíolos (un), avaliado para diferentes densidades de plantio da cultura da acariçoba.

Tratamentos* (mudas.m <sup>-2</sup> )	Variáveis				
	Massa fresca subterrânea (g)	Massa fresca aérea (g)	Diâmetro foliar (cm)	Quantidade de pecíolos (un)	Comprimento do pecíolo (cm)
T1	21,8 b	44,0	8,3	31,4 c	21,0
T2	23,0 b	42,2	8,5	39,4 bc	21,0
T3	25,6 ab	50,8	8,4	46,6 ab	21,8
T4	32,0 a	51,8	8,8	54,8 a	22,0

(a,b,c) diferenças de média conforme teste Tukey.

\* (T1) 75 mudas.m<sup>-2</sup>; (T2) 105 mudas.m<sup>-2</sup>; (T3) 150 mudas.m<sup>-2</sup>; (T4) 180 mudas.m<sup>-2</sup>

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Quanto as variáveis: massa fresca subterrânea e quantidade de pecíolos o comportamento numérico é de aumento conforme o tratamento aumentava, ou seja, o aumento da densidade de plantio levou ao aumento da massa fresca subterrânea e do número de pecíolos por vaso. Os resultados também foram estatisticamente diferentes entre si.

Autores como Silva; Sonnenberg; Borges (2004); Blank *et al.* (2007); Carvalho *et al.* (2010); Sangalli *et al.* (2011); Weber *et al.* (2016); Sousa *et al.* (2019) e Silva (2021), corroboram com estas observações de que com o aumento da densidade populacional gerou

o aumento dos valores em todas as variáveis avaliadas. Porém as variáveis: massa fresca aérea, do diâmetro foliar e comprimento dos pecíolos, as diferenças foram apenas numéricas, as quais não foram estatisticamente diferentes.

De forma contrária as observações na tabela 1 temos os autores Mundstock, (1978) e Silva; Argenta; Rezzera, (1999), os quais relatam que pode ocorrer diminuição em produção com o aumento de densidade populacional de plantas. Esta observação é inversa ao observado em todos os resultados.

## 4.2. ESTRUTURA DE AGREGADO

Na tabela 2 há os resultados das variáveis: massa fresca subterrânea, massa fresca aérea, comprimento do pecíolo, diâmetro foliar e quantidade de pecíolos, conforme a densidade de plantas em solo de estrutura grão simples.

Tabela 2. Comparação de média pelo teste TUKEY para determinação da massa fresca subterrânea (g), massa fresca aérea (g), diâmetro dos pecíolos (cm), comprimento (cm) e quantidade dos pecíolos (un), avaliado para diferentes densidades de plantio da cultura da acariçoba.

Variáveis					
Tratamentos* (mudas.m <sup>-2</sup> )	Massa fresca subterrânea (g)	Massa fresca aérea (g)	Diâmetro foliar (cm)	Quantidade de pecíolos (un)	Comprimento do pecíolo (cm)
T1	32,8ab	55,0b	9,2	44,2b	24,3
T2	34,2ab	63,0ab	9,8	52,2ab	23,0
T3	28,8b	51,2b	8,6	47,6ab	23,9
T4	37,0a	70,4a	9,0	58,6a	22,4

(a,b) diferenças de média conforme teste t.

\* (T1) 75 mudas.m<sup>-2</sup>; (T2) 105 mudas.m<sup>-2</sup>; (T3) 150 mudas.m<sup>-2</sup>; (T4) 180 mudas.m<sup>-2</sup>

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Quanto ao diâmetro foliar e ao comprimento do pecíolo os valores foram diferentes numericamente e não estatisticamente, sendo que apresentaram comportamento irregular, ou seja, foi bem diferenciado.

Ao analisar os resultados obtidos no experimento dos tratamentos de densidades de plantio na cultura da acariçoba em solo com estrutura de agregado, observou-se que as variáveis massa fresca subterrânea; massa fresca aérea e quantidade de pecíolos foram numericamente e estatisticamente diferentes em que houve valores crescentes nos tratamentos 1 e 2, no tratamento 3 com valores inferiores, mas que o tratamento 4 com densidade populacional de 180 mudas.m<sup>-2</sup>, foi o maior valor nestas variáveis.

O aumento nos valores dos tratamentos 1, 2 e 4 nas variáveis: massa fresca aérea e subterrânea e quantidade de pecíolo é o mesmo comportamento relatado pelos autores Silva; Sonnenberg; Borges (2004); Blank *et al.* (2007); Carvalho *et al.* (2010); Sangalli *et al.* (2011); Weber *et al.* (2016); Sousa *et al.* (2019) e Silva (2021), em que o aumento da densidade de plantas aumenta os valores das variáveis.

Os autores Mundstock, (1978) e Silva; Argenta; Rezzera, (1999), apresentam um relato de que aumentando a densidade diminui-se os valores das variáveis. Diferente do comportamento observados em todas as variáveis analisadas.

Após a descrição do comportamento das variáveis das tabelas 1 e 2; resultados dos experimentos com os solos estrutura de grão simples e agregado, tem-se que o solo de estrutura agregada foi superior à de estrutura grão simples, nas variáveis de valores diferentes estatisticamente. Isso demonstra que a cultura da acariçoba com o solo do município de Anápolis, nas condições de manejo no município de Anápolis e agregado é melhor ao cultivo.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com o estudo feito com diferentes tipos de densidades populacional temos que o melhor tratamento foi o de maior densidade populacional (180 pl.m<sup>-2</sup>), numericamente na maioria dos resultados.

Recomendamos a densidade de 180 pl.m<sup>-2</sup>, que apresentou os melhores resultados estatisticamente para as variáveis matéria fresca subterrânea e quantidade de pecíolos nos dois tipos de estrutura do solo (grão simples e agregado) e para a estrutura agregada a variável matéria fresca aérea também é a melhor na mesma densidade de plantas.

## REFERÊNCIAS

- ALI, M. A. The proximity of *Hydrocotyle umbellata* L. with araliaceae as evident from plastome and phylotranscriptomic analyses. **Journal of King Saud University-Science**, v. 33, n. 4, p. 101412, 2021.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247p.
- BLANK, A. F.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; AMANCIO, V. F.; MENDONÇA, M. C.; SANTANA FILHO, L. G. M. Densidades de plantio e doses de biofertilizante na produção de capim limão. **Horticultura Brasileira**. v. 25, n.3, p. 343-349, 2007.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger Para o Estado de Goiás e o Distrito Federal |Cardoso| **ACTA GEOGRÁFICA. Acta Geográfica**, v. 8, p. 40-55, 2014.

- CARVALHO, E. V.; SÁ, C. H. A. C.; COSTA, J. L.; AFFÉRI, F. S.; SIEBENEICHLER, S. C. Densidade de plantio em duas cultivares de mamona no Sul do Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 387-392, 2010.
- DAR, R. A.; SHAHNAWAZ, M.; QAZI, P. H. General overview of medicinal plants: A review. **The Journal of Phytopharmacology**, v. 6, n. 6, p. 349-351, 2017.
- EDMEADES, D. C. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 66, n. 4, p. 165-180, 2003.
- FARIA, J. C. T.; LOPES, D. A.; LYRA, G. B.; MELO, H. C.; MELO, L. A. Manejo da densidade de plantas durante a produção de mudas em viveiro. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1187-1198, 2019.
- FIASCHI, P. **Araliaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jrbj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB103113>. Acesso em maio de 2022.
- FLORENTINO, I. F.; NASCIMENTO, M. V. M.; GALDINO, P. M.; BRITO, A. F.; ROCHA, F. F.; TONUSSI, C. R.; LIMA, T. C. M.; PAULA, J. R.; COSTA, E. A. Evaluation of analgesic and anti-inflammatory activities of *Hydrocotyle umbellata* L., Araliaceae (acariçoba) in mice. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, p. 987-997, 2013.
- JAMSHIDI-KIA, F.; LORIGOOINI, Z.; AMINI-KHOEI, H. Medicinal plants: Past history and future perspective. **Journal of Herbmed Pharmacology**, v. 7, n. 1, 2018.
- JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática Vegetal: Um Enfoque Filogenético**. 3 ed. São Paulo: Artmed, 2009.
- KOOTI, W.; SERVATYARI, K.; BEHZADIFAR, M.; ASADI-SAMANI, M.; SADEGHI, F.; NOURI, B.; MARZOUNI, H. Z. Effective medicinal plant in cancer treatment, part 2: review study. **Journal of Evidence-based Complementary & Alternative Medicine**, v. 22, n. 4, p. 982-995, 2017.
- LI, Y.; KONG, D.; FU, Y.; SUSSMAN, M. R.; WU, H. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 148, p. 80-89, 2020.
- MUNDSTOCK, C. M. Efeitos de espaçamentos entre linhas e de populações de plantas em milho (*Zea mays*) de tipo precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 13-18. 1978.
- NASRI, H.; SHIRZAD, H. Toxicity and safety of medicinal plants. **Journal of HerbMed Pharmacology**, v. 2, 2013.

- NICOLAS, A. N.; PLUNKETT, G. M. The demise of subfamily Hydrocotyloideae (Apiaceae) and the re-alignment of its genera across the entire order Apiales. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 53, n.1, p. 134–151, 2009.
- OJENIYI, S. O. Effect of Goat Manure on Soil Nutrients and Okra Yield in the Rain Forest Area of Nigeria. **Applied Tropical Agriculture**, v. 5, p. 20-23, 2000.
- OLIVEIRA, M. G.; MOREIRA, L. K. S.; TURONES, L. C.; ALMEIDA, D. S.; MARTINS, A. N.; OLIVEIRA, T. L. S.; SILVA, V. B.; BORGES, L. L.; COSTA, E. A.; PAULA, J. R. Mechanism of action involved in the anxiolytic-like effects of Hibalactone isolated from *Hydrocotyle umbellata* L. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 12, n. 4, p. 318-329, 2021.
- OLIVEIRA, T. L. S.; MORAIS, S. R.; SÁ, S.; OLIVEIRA, M. G.; FLORENTINO, I. F.; SILVA, D. M.; CARVALHO, V. V.; SILVA, V. B.; VAZ, B. G.; SABINO, J. R.; COSTA, E. A.; PAULA, J. R. Antinociceptive, anti-inflammatory and anxiolytic-like effects of the ethanolic extract, fractions and Hibalactone isolated from *Hydrocotyle umbellata* L. (Acariçoba) – Araliaceae. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 95, p. 837-846, 2017.
- PETROVSKA, B. B. Historical review of medicinal plants' usage. **Pharmacognosy Reviews**, v. 6, n. 11, p. 1, 2012.
- ROCHA, F. F.; ALMEIDA, C. S.; SANTOS, R. T.; SANTANA, S. A.; COSTA, E. A.; PAULA, J. R.; VANDERLINDE, F. A. Anxiolytic and sedative effects of *Hydrocotyle umbellata* L., Araliaceae, extract in mice. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, n. 1, p. 115-120, 2011.
- SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A.; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870-e154911870, 2020.
- SALTOS, R. V. A. The use of medicinal plants by rural populations of the Pastaza province in the Ecuadorian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 4, p. 355–366, 2016.
- SANGALLI, A.; VIEIRA, M. C.; HEREDIA ZÁRATE, N. A.; SCALON, S. P. Q. Desenvolvimento e produção da carobinha (*Jacaranda decurrens* Cham. subsp. *symmetrifoliolata* Farias & Proença) cultivada sob dois arranjos de plantas, com ou sem cobertura de cama-de-frango no solo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.13, n.4, p.439-446, 2011
- SANTOS, G. O.; DÉA, T. K. G.; ABREU, L. D.; CABRAL, R. F.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, R.; DINIZ, R. G. Manejo da agricultura irrigada: orientações técnicas aos horticultores-feirantes. **Revista Conexão UEPG**, v. 15, n. 2, p. 193-198, 2019.
- SHAKYA, A. K. Medicinal plants: Future source of new drugs. **International Journal of Herbal Medicine**, v. 4, n. 4, p. 59-64, 2016.

- SILVA, N. F.; SONNENBERG, P. E.; BORGES, J. D. Crescimento e produção de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) em função de adubação mineral e densidade de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.61-65, 2004.
- SILVA, P. L. F. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 3, n. 2, 2021.
- SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; REZZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.
- SMITH-HALL, C.; LARSEN, H. O.; POULIOT, M. People, plants and health: a conceptual framework for assessing changes in medicinal plant consumption. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2012.
- SOUSA, J. A.; ARAÚJO, J. D. M.; PEREIRA, R. C. A.; RODRIGUES, T. H. S.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S. **Adubação orgânica e densidade de plantio na produção de quebra-pedra**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2019. 21 p.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. 3ª ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2012.
- VISMARA, L. S.; OLIVEIRA, V. A.; KARAM, D. Revisão de modelos matemáticos da dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas em agrossistemas. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2007.
- WEBER, D.; ELOY, J.; GIOVANAZ, M. A.; FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C. Densidade de plantio e produção do maracujazeiro-azedo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p. 99-106, 2016.

# CAPÍTULO VII

## COBERTURAS E ADUBAÇÃO FOLIAR NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MYRACRODRUON URUNDEUVA EM TÚNEL BAIXO

### TOPDRESSING AND FOLIAR FERTILIZATION FOR MYRACRODRUON URUNDEUVA SEEDLING PRODUCTION UNDER LOW TUNNEL

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-7

Daniela Soares Alves Caldeira <sup>1</sup>

Juliana Souza de Deus <sup>2</sup>

Altacis Junior de Oliveira <sup>3</sup>

Taniele Carvalho de Oliveira <sup>4</sup>

Marcella Karoline Cardoso Vilarinho <sup>5</sup>

<sup>1,5</sup> Professora Adjunta da Faculdade de Ciências Agrárias e Biológica – Cáceres. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>2</sup> Mestranda em Genética e Melhoramento de Plantas – Cáceres. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>3</sup> Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>4</sup> Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

#### RESUMO

Este estudo analisou o crescimento e a qualidade de mudas de *Myracrodruon urundeuva* sob coberturas e adubação foliar em túneis baixos, na área de Silvicultura da UNEMAT/Campus de Cáceres-MT. O delineamento experimental foi o Inteiramente Casualizado (DIC) em Parcelas Subdivididas, com três coberturas (TNT branco, TNT vermelho e Sombrite 50%) e duas condições de adubação foliar (ausência e presença) com 4 repetições e 4 plantas por unidade experimental. As variáveis analisadas foram: altura (H), diâmetro de colo (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), relação H/DC, massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Houve efeito positivo do tipo de cobertura para a variável DC e H/DC com as maiores médias observadas nos tratamentos sob TNT vermelho e Sombrite. Em relação a adubação foliar, observou-se efeito favorável somente quando utilizado sob Sombrite, promovendo maiores médias nas variáveis MSPA e MST. Conclui-se que as coberturas de TNT vermelho e Sombrite 50% promovem maior diâmetro de colo e robustez (H/DC) em mudas de *M. urundeuva*. A adubação foliar mostra-se favorável sob Sombrite, incrementando MSPA e MST. Assim, o tipo de cobertura e a adubação foliar proporcionam resultados promissores para algumas variáveis em mudas de *M. urundeuva*, aos 155 dias.

**Palavras-chave:** TNT. Aroeira-do-sertão. Cultivo protegido.

#### ABSTRACT

This study analyzed the growth and quality of *Myracrodruon urundeuva* seedlings under different coverings and foliar fertilization in low tunnels, conducted at the Silviculture area of UNEMAT/Campus de Cáceres-MT. The experimental design was a Completely Randomized Design (CRD) in Split-Plots, with three main treatments (coverings: T1 - white non-woven fabric (TNT), T2 - red non-woven fabric (TNT), and T3 - 50% shade net (Sombrite)) and two secondary treatments (foliar fertilization conditions: absence and presence). There were 4 repetitions and 4 plants per experimental unit. The variables analyzed were height (H), collar diameter (DC), number of leaves (NF), shoot dry mass (MSPA), root dry mass (MSR), H/DC ratio, total dry mass (MST), and Dickson Quality Index (IQD). A positive effect of the covering type was observed for DC and H/DC variables, with the highest averages found in treatments under red TNT and Sombrite. Regarding foliar fertilization, a favorable effect was observed only when used under Sombrite, promoting higher averages in the MSPA and MST variables. In conclusion, red TNT and 50% Sombrite coverings promote a larger collar diameter and robustness (H/DC) in *M. urundeuva* seedlings. Foliar fertilization proves favorable under Sombrite, increasing MSPA and MST. Thus, the type of covering and foliar fertilization provide promising results for some variables in *M. urundeuva* seedlings at 155 days.

**Keywords:** TNT. Aroeira-do-sertão. Protected cultivation.



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido por possuir uma extraordinária diversidade de espécies arbóreas, estimando-se que existam cerca de 8.715 espécies de árvores no país, o que representa aproximadamente 14,5% do total de espécies registradas em todo o mundo. Além disso, metade dessas espécies arbóreas são exclusivas do Brasil, ressaltando a importância e singularidade da rica biodiversidade arbórea brasileira (Beech *et al.*, 2017).

Em contrapartida, é crescente a produção de mudas de espécies florestais nativas em virtude da necessidade de suprir a demanda por produtos florestais, para revegetação de áreas degradadas e matas ciliares, com vistas a diminuir os impactos ambientais causados pelos intensos desmatamentos (Fernandes *et al.*, 2000; Caldeira *et al.*, 2016).

Dentre as espécies florestais nativas possíveis de serem usadas na recomposição de áreas de reserva legal ou na recuperação de áreas degradadas, tem-se a *Myracrodruon urundeuva*, conhecida popularmente como aroeira, é uma árvore nativa que possui ampla gama de aplicações. É valorizada na construção civil, usada em medicamentos e uma opção em sistemas agroflorestais e no paisagismo urbano (Goes *et al.*, 2005; Mello *et al.*, 2013). Viana *et al.*, (1995) também destacam suas diversas propriedades medicinais, sendo conhecida por suas propriedades adstringentes, antialérgicas, anti-inflamatórias e cicatrizantes.

Pertencente à família Anacardiaceae, é uma espécie decídua, heliófila, secundária tardia, que pode atingir de 8 a 20 metros de altura, a depender da região de ocorrência. Possui caule geralmente ereto com diâmetro superior a 30 centímetros e sua casca é de cor castanho-escuro (Andrade *et al.*, 2000; Lorenzi, 2022).

Devido aos diversos usos atribuídos à espécie, a aroeira tem passado por um processo de exploração intenso e predatório, causando a devastação de suas populações naturais, assim colocando-a como uma espécie ameaçada de extinção (Brasil, 2008).

Considerando que uma das grandes dificuldades dos projetos de reflorestamento com espécies florestais nativas é a obtenção de mudas, na quantidade, qualidade e diversidade adequadas (Santarelli; 2004; Luca *et al.*, 2010) e, visando atender às demandas já citadas, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias que permitam produzir mudas com qualidade, trabalhando com a redução no tempo de produção e facilidade ao acesso das técnicas aos produtores (Cunha *et al.*, 2005).

A intensidade luminosa influencia diretamente no desenvolvimento das plantas ao exercer efeitos diretos sobre a fotossíntese, abertura estomática e síntese de clorofila, sendo que as espécies florestais se comportam de forma diferenciada em relação à luminosidade. Essas diferenças estão relacionadas às semelhanças evolutivas de cada espécie em relação ao ambiente em que estão inseridas (Oliveira e Perez, 2012; Aguiar *et al.*, 2011)

De acordo com Rosa *et al.*, (2021) a luminosidade do ambiente para produção e/ou transplante de mudas é determinante para o sucesso das práticas silviculturais e, segundo Abreu (2022) a aroeira está adaptada a altas intensidades luminosas, atribuindo tal fato à história evolutiva das plantas do Cerrado.

Nesse sentido, Paiva *et al.*, (2003) destacam que na produção de mudas, os viveiristas mantém a tradição de uso de telas com 50% de sombreamento, sendo tais recomendações utilizadas há muito tempo e que se tornaram padrão nos viveiros florestais, mesmo sabendo-se do comportamento distinto entre as espécies no que se refere à luminosidade (David; Silva, 2008).

As telas de sombreamento, materiais agrotêxteis e filmes plásticos tem sido utilizado para proteção das mudas nos viveiros e promovem modificações climáticas variáveis já que podem apresentar alterações na absorção e bloqueio de luminosidade (Rampazzo *et al.*, 2014).

Em vista disso, Barros Júnior *et al.*, (2004) mencionam as possibilidades de uso do tecido não tecido (TNT) seja diretamente sobre o solo ou em estrutura de apoio formando túneis, com a vantagem de ser de baixo custo e fácil uso (Henrique *et al.*, 2011). O TNT tem demonstrado ser eficiente na melhoria da produção e qualidade de produtos como alface e outras hortaliças e estudos mostram que a utilização do agrotêxtil nas gramaturas de 13 g.m<sup>-2</sup> e 40 g.m<sup>-2</sup> na cor branca, resultou em maior produtividade na gramatura de 40 g.m<sup>-2</sup> (Barros Júnior *et al.*, 2004)

Além da luminosidade, outro fator que afeta a produção de mudas é a adubação, pois o substrato de maior utilização pelos produtores de mudas são os solos que se encontram em subsuperfície que em geral são ácidos e de baixa fertilidade natural (Paiva; Gomes, 2000).

Quando o substrato não consegue suprir as necessidades das plantas após um período no viveiro, é necessário realizar uma adubação adicional, sendo a adubação foliar umas das alternativas mais eficazes. Essa prática tem sido empregada (Benício *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2012; Ortolan; Segato, 2014; Albano *et al.*, 2017), no entanto, existem poucos estudos sobre

o uso da adubação foliar em mudas de espécies nativas. Todavia, é importante destacar que, a adubação foliar não pode ser adotada como técnica principal para o fornecimento de nutrientes (Valeri; Corradini, 2000; Menegassi, 2012).

Alguns problemas ainda devem ser solucionados nos viveiros, como por exemplo a falta de padronização nos procedimentos para expedição dos indivíduos produzidos (Freitas *et al.*, 2009). Além disso, Carneiro (1995) menciona que os critérios utilizados para seleção de mudas aptas para plantio são baseados em parâmetros que algumas vezes não são capazes de exprimir a qualidade real do indivíduo.

A aroeira apresenta crescimento considerado lento e em função disso, Salomão (2016) salienta que o plantio das mudas no local definitivo deve ser efetuado entre o sexto e oitavo mês após a emergência das plântulas.

Deve-se destacar a necessidade de estudos que permitam encontrar soluções para tornar acessíveis aos produtores e viveiristas técnicas que possibilitem a expedição de mudas que estejam aptas para atender aos objetivos dos plantios, em menor espaço de tempo (Faustino *et al.*, 2022).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo analisar o crescimento e a qualidade de mudas de *Myracrodruon urundeuva* sob coberturas e adubação foliar em túneis baixos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área de Silvicultura da UNEMAT/Campus de Cáceres-MT. A região é caracterizada por duas estações bem definidas (seca no inverno e úmida no verão), temperatura média anual de 25 °C podendo alcançar 40 °C e precipitação média de 1.396 mm ano<sup>-1</sup>, (Silva *et al.*, 2008).

As sementes foram adquiridas de empresa idônea e o plantio realizado em ambiente protegido com tela tipo sombrite 50% de coloração preta, em tubetes de tamanho de 55 cm<sup>3</sup> devidamente preenchidos com substrato comercial. A semeadura foi realizada diretamente nos recipientes, onde foram colocadas três sementes e o desbaste foi realizado 30 dias após a semeadura (DAS) para manutenção de apenas uma plântula. As regas foram efetuadas diariamente conforme a necessidade, bem como os tratamentos culturais necessários.

As mudas foram repicadas após atingirem 5 cm de altura para sacos de polietileno de tamanho médio preenchidos com solo coletado na região, cuja caracterização química consta na Tabela 1 e colocadas sob as coberturas consideradas tratamentos. Logo após, realizou-se

2 aplicações quinzenais do adubo foliar cuja composição se apresenta na Tabela 2, na dose recomendada pelo fabricante ( $1,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  com diluição de  $1 \text{ kg} \cdot 100\text{L}^{-1}$ ).

**Tabela 1.** Análise química do substrato utilizado.

Matéria Orgânica	44	g/dm <sup>3</sup>
pH	5,5	-
P	235	mg/dm <sup>3</sup>
Ca	57,3	mmolc/dm <sup>3</sup>
K	9,9	mmolc/dm <sup>3</sup>
H	19	mmolc/dm <sup>3</sup>
Mg	37,4	mmolc/dm <sup>3</sup>
H+Al <sup>3</sup>	19	mmolc/dm <sup>3</sup>
Al <sup>3</sup>	0	mmolc/dm <sup>3</sup>
SB	104,6	mmolc/dm <sup>3</sup>
V	85	%
M	0	%

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 2.** Garantias do adubo foliar.

N	14	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12	%
K <sub>2</sub> O	12	%
Mn	0,20	%
Mg	1,00	%
S	10,50	%
Zn	0,60	%
Cu	0,25	%

Fonte: Autoria própria.

O delineamento experimental adotado foi o Inteiramente Casualizado (DIC) em Parcelas Subdivididas, sendo o tratamento principal: 3 coberturas (T1 - TNT branco, T2 - TNT vermelho e T3 - Sombrite 50%) e o tratamento secundário: 2 condições (ausência e presença da adubação foliar) com 4 repetições e 4 plantas por unidade experimental.

A avaliação de crescimento e de qualidade foi realizada aos 155 dias após o plantio (DAP), observando os seguintes parâmetros morfológicos: altura de planta (H) determinada por meio de régua graduada; diâmetro de colo (DC) determinada por meio de paquímetro digital e número de folhas (NF) determinado por meio de contagem direta. Além destes foram analisadas; massa fresca e seca da parte aérea (MSPA) e massa fresca e seca da raiz (MSR), onde as plantas foram retiradas, lavadas e seccionadas na região do colo, separando-se a parte aérea da radicular.

O material foi pesado e acondicionado separadamente em embalagens de papel, identificadas e seco em estufa, previamente aquecida a 60<sup>o</sup>C por 72 horas, onde o material foi mantido até atingir peso constante e posteriormente pesado em balança digital de precisão.

Foram calculadas a razão entre a altura e o diâmetro de colo (H/DC), razão entre matéria seca de parte aérea e matéria seca de raiz (MSPA/MSR), massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Para a determinação do IQD aplicou-se o modelo matemático proposto por Dickson *et al.*, (1960) e determinado por meio da fórmula  $IQD = PMST / [(HT/DC) + (PMSPA/PMSR)]$ .

As médias obtidas para cada variável foram submetidas à análise de variância e comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade usando o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se através da análise de variância, que houve interação significativa entre os fatores cobertura e adubação foliar para as variáveis: massa seca da parte aérea e massa seca total. Para as demais variáveis se observou efeito isolado dos fatores apenas para diâmetro de colo e razão altura e diâmetro de colo. Estes resultados demonstram que, mudas de *M. urundeuva* produzidas sob diferentes coberturas e adubação foliar tem comportamento distinto em relação ao crescimento e qualidade.

Em relação à variável altura observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3), sendo a altura média encontradas entre 11,41 e 12,72 cm. Segundo Gomes (2004), mudas de espécies arbóreas estão aptas para o plantio no campo quando a altura da parte aérea estiver entre 15 e 30 cm, deste modo, as mudas ainda não estão aptas para o plantio definitivo no campo ao considerar-se apenas este parâmetro morfológico.

Observou-se que o uso de TNT vermelho (T2) promoveu maior diâmetro de colo, diferindo significativamente do TNT branco, enquanto o sombreamento com sombrite (T3) não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 3). Este aumento no diâmetro pode estar associado à modificação no espectro luminoso proporcionada pelo TNT vermelho, que potencialmente favorece a fotomorfogênese e o desenvolvimento de tecidos de sustentação, como relatado por Silva *et al.*, (2022), que destacaram os efeitos benéficos de filmes plásticos coloridos na modulação da qualidade da luz em cultivos protegidos.

Conforme Schorn e Formento (2003) discorrem, para uma muda ser considerada pronta para o plantio definitivo, o diâmetro do colo mínimo deve ser de 2 mm e, dessa forma, de acordo com os autores as mudas produzidas sob T2 e T3 apresentam diâmetro de colo apropriado para o plantio definitivo.

**Tabela 3.** Teste de Tukey para o fator tipos de cobertura e adubação em mudas de *Myracrodruon urundeuva*, Cáceres-MT, 2023.

<b>COBERTURA</b>	<b>H (cm)</b>	<b>DC (mm)</b>	<b>NF</b>	<b>H/DC</b>
T1 - TNT branco	11,94 a	1,93 b	21,50 a	6,30 b
T2 - TNT vermelho	12,72 a	2,67 a	22,06 a	4,86 a
T3 - Sombrite	11,41 a	2,18 ab	21,94 a	5,48 ab
<b>ADUBAÇÃO</b>	<b>H (cm)</b>	<b>DC (mm)</b>	<b>NF</b>	<b>H/DC</b>
Presente	12,34 a	2,31 a	22,58 a	5,59 a
Ausente	11,70 a	2,21 a	21,08 a	5,50 a
CV1 (%)	15,78	20,94	32,18	16,50
CV2 (%)	12,67	17,80	13,24	21,59

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. H: altura da parte aérea (cm); NF: número de folhas; DC: diâmetro do colo (mm); H/DC: razão altura de plantas por diâmetro do colo. CV1 (coeficiente de variação para parcelas) e CV2 (coeficiente de variação para subparcelas).

Fonte: Autoria própria.

A variável H/DC apresentou os menores valores nas mudas produzidas sob TNT vermelho (4,86), evidenciando maior robustez, uma característica desejável em mudas florestais por indicar menor risco de acamamento e maior capacidade de sobrevivência pós-plantio (Gonçalves et al., 2019).

Em contraposição ao ocorrido na presente pesquisa, Carneiro (1995) relata que a relação H/DC deve situar-se entre 5,4 e 8,1 e Viégas (2015) sugere que esta relação deve ser inferior a 10 para espécies florestais, para demonstrar equilíbrio de crescimento entre a altura e o diâmetro de colo das mudas, onde observa-se que apenas o tratamento sob TNT vermelho não se enquadra nesta faixa de equilíbrio.

Quanto à adubação foliar, não foram observadas diferenças estatísticas significativas para as variáveis analisadas, conforme apresentado na Tabela 3.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para as variáveis massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, relação entre a massa seca da parte aérea e das raízes, massa seca total e índice de qualidade de Dickson. As variáveis fornecem informações importantes sobre o crescimento das mudas sob diferentes condições, porém não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

A relação MSPA/MSR observada apresenta-se insatisfatória quando comparada ao valor deste índice recomendado por Caldeira (2008) que cita que a relação massa seca de parte aérea e massa seca de raízes nas mudas deve ser de 2:1, e a relação inversa deve ser de 1:2. Essa relação deve ser observada já que, a parte superior das mudas não deve ser

expressivamente superior à área radicular, dificultando assim a absorção e transferência de água para a parte aérea.

**Tabela 4.** Teste de Tukey para o fator cobertura e adubação em mudas de *Myracrodruon urundeuva*, Cáceres-MT, 2023.

<b>COBERTURA</b>	<b>MSPA (g)</b>	<b>MSR (g)</b>	<b>MSPA/MSR</b>	<b>MST (g)</b>	<b>IQD</b>
T1 - TNT branco	0,72 a	0,88 a	0,91 a	1,60 a	0,22 a
T2 - TNT vermelho	0,60 a	0,84 a	0,75 a	1,45 a	0,26 a
T3 - Sombrite	0,80 a	1,02 a	0,85 a	1,81 a	0,30 a
<b>ADUBAÇÃO</b>	<b>MSPA (g)</b>	<b>MSR (g)</b>	<b>MSPA/MSR</b>	<b>MST (g)</b>	<b>IQD</b>
Presente	0,75 a	0,95 a	0,92 a	1,62 a	0,26 a
Ausente	0,66 a	0,87 a	0,75 a	1,61 a	0,27 a
CV1 (%)	41,96	50,24	23,75	45,63	51,58
CV2 (%)	17,17	30,19	32,68	20,55	36,18

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. MSPA: massa seca da parte aérea (g); MSR: massa seca da raiz (g); MSPA/MSR: razão massa seca da parte aérea / massa seca da raiz; MST: massa seca total (g); IQD: índice de qualidade de Dickson.

Fonte: Autoria própria.

No que se refere ao índice de qualidade de Dickson (IQD), considerado um dos parâmetros mais completos para avaliar a qualidade morfológica de mudas florestais (Gomes *et al.*, 2002), os valores médios observados, apesar de não significativos, variaram de 0,22 a 0,30, valores estes inferiores aos mencionados por Gomes *et al.*, (2019) que estabelece o valor mínimo de IQD em torno de 0,35. O autor ainda cita que valores mínimos de 0,20 são aceitáveis para mudas produzidas em tubetes, entretanto salienta que esse parâmetro não pode ser utilizado para mudas semeadas em sacos plásticos em detrimento do seu maior volume de substrato. Entretanto, Carneiro (1995) em estudos anteriores com espécies florestais nativas recomenda valores mínimos de IQD entre 0,20 e 0,30 para garantir maior sucesso no estabelecimento inicial das mudas.

Nesse sentido, diversos autores destacam que quanto maior o valor de IQD, melhor será a qualidade da muda produzida, sendo variável principalmente em função da espécie, do manejo das mudas no viveiro, do tipo e proporção do substrato, do volume do recipiente e, principalmente, de acordo com a idade em que a muda foi avaliada (Caldeira *et al.*, 2007; Caldeira *et al.*, 2008; Saidelles *et al.*, 2009; Caldeira *et al.*, 2012; Trazzi *et al.*, 2010);Gomes *et al.*, 2013).

Na Tabela 5 são apresentados os desdobramentos da interação entre os fatores adubação e tipo de cobertura das mudas de *M. urundeuva* para a variável matéria seca de

parte aérea. Observa-se que as médias são significativamente diferentes entre as duas condições de adubação apenas no tratamento sob Sombrite. Com relação ao tratamento com o TNT branco e TNT vermelho, não houve diferença significativa entre as condições de adubação. Isso indica que a presença de adubação está associada ao aumento na matéria seca da parte aérea das mudas de *M. urundeuva*, sob cobertura de Sombrite aos 155 dias.

**Tabela 5.** Matéria seca parte aérea (MSPA)

ADUBAÇÃO	TNT BRANCO	TNT VERMELHO	SOMBRITE
Presente	0,63 aA	0,66 aA	0,96 aA
Ausente	0,81 aA	0,55 aA	0,63 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados sobre o desdobramento da variável matéria seca total em relação à adubação foliar e ao tipo de cobertura estão apresentados na Tabela 6. Nos diferentes ambientes observa-se o efeito da adubação foliar sob o sombrite e sob o TNT branco, resultando em maiores médias de matéria seca total apenas no sombrite e efeito contrário no TNT branco onde a maior média observada foi na ausência da adubação foliar.

**Tabela 6.** Desdobramento da massa seca total (MST)

ADUBAÇÃO	TNT BRANCO	TNT VERMELHO	SOMBRITE
Presente	1,32 bA	1,44 aA	2,12 aA
Ausente	1,88 aA	1,45 aA	1,51 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria.

Nota-se com os resultados apresentados, a complexidade das interações entre adubação e tipos de cobertura no crescimento das mudas de *M. urundeuva*. A compreensão desses fatores é importante para otimizar as práticas de cultivo e promover o crescimento saudável das mudas.

## 4. CONCLUSÃO

As coberturas de TNT vermelho e sombrite 50% em túneis baixos, promovem maior diâmetro de colo e robustez (H/DC) em mudas de *M. urundeuva*.

A adubação foliar mostra-se favorável quando utilizada sob sombrite, promovendo incrementos na matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST).

Assim, o tipo de cobertura e a adubação foliar proporcionam resultados promissores em mudas de *M. urundeuva*.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, I. M. P. G. **Influência de diferentes intensidades luminosas na modulação da fisiologia de *Dipteryx alata* Vogel e *Myracrodruon urundeuva*, M. Allemão.** 2022. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Ciências Biológicas. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2022.
- AGUIAR, F. F.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; NASCIMENTO, T. D. R. do; ROCCO, F. M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58; n.6, p. 729-734, 2011.
- ALBANO, F. G.; CAVALCANTE, I. H. L.; MACHADO, J. S.; LACCERDA, C. F.; SILVA, E. R.; SOUSA, H. G. Substrato contendo resíduo agroindustrial de carnaúba para produção de mudas de mamoeiro sob adubação foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 128-133, 2017.
- ANDRADE, M. W.; LUZ, J. M. Q.; LACERDA, A. S.; MELO, P. R. A. Micropropagação da Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All). **Ciência Agrotécnica**, v. 24, n. 1, p. 174-180, 2000.
- BARROS JÚNIOR, A.P.; GRANGEIRO, L.C.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M.Z.; SOUZA, J.O.; AZEVEDO, P.E.; MEDEIROS, D. C. Cultivo da alface em túneis baixos de agrotêxtil. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.4, p. 801-803, out-dez 2004.
- BEECH, E. Global tree search: o primeiro banco de dados global completo de espécies de árvores e distribuições por país. **Journal of Sustainable Forestry**, v.36, p. 454- 489, 2017.
- BENÍCIO, L. P. F.; REIS, A. F. B.; REIS, A. F. B.; RODRIGUES, H. V. M. Diferentes concentrações de biofertilizante foliar na formação de mudas de quiabeiro. **Revista Verde**, v. 6, n. 5, p. 92-98, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 6, de 23 de setembro de 2008. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, v. 145, n. 185, 24 set. 2008.
- CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. De O.; WENDLING, I.; MARTINS, R. C. C. **Produção de mudas. IN: Silvicultura do eucalipto no Brasil.** SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (org) Santa Maria: ED da UFSM, 2016. 306 p.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77 - 84, 2012.
- CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAADT, S. S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus*

- terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, v. 3, p. 1 - 8, 2007.
- CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 27 - 33. 2008
- CARNEIRO, J.G.A. **Produção e controle de mudas florestais**. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná, 1995.451p.
- CUNHA, A. O. ANDRADE, L. A. BRUNO, R. L. A. SILVA, J. A. L. SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões de recipientes na qualidade de mudas de **Tabebuia impetiginosa** (Mart. ex DC.) Standl. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.
- DAVID, A. C.; SILVA, E. A. A. **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008, 175 p.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white 330 pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13,1960.
- FAUSTINO, I.S.; JACOVINE, L.A. G.; MOARIS JUNIOR, V. T.M.; ALVES, E. B. B. M.; ROCHA, S. J. S. S.; FRANÇA, L. C. J.; OLIVEIRA, K.; OLIVEIRA, T. A.; ROMERO, F. M. B.; PAIVA, H. N. Avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas. DOI 10.37885/220107500. FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotécnica**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FERNANDES L. A, FURTINITI NETO A. F., VALE F.R. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n.6, p.1191-1198, 2000.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotécnica**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FREITAS, T. A. S. de; BARROSO, D.G; CARNEIRO, J.G. de A.; PENCHEL FILHO, R. M.; SOUZA, L. S. Efeito de deformação e poda das raízes de mudas de eucalipto sobre o crescimento no campo. **Floresta**, v. 39, n. 2, p. 355-363, 2009.
- GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 123 - 131, 2013.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: [propagação sexuada]**. 3.ed. Viçosa - Mg: UFV, II. (Cadernos Didáticos; 72); 116p. 2004.
- GOMES, S. H. M.; GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; PEREIRA, F. R. M.; RIBEIRO, M. M. de J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, 2019.

- GONÇALVES, E. O.; SANTOS, G. R.; MELO, L. A. **Critérios técnicos para avaliação da qualidade de mudas florestais: conceitos e práticas.** In: Seminário de Viveiros Florestais. Curitiba: IPEF, 2019. p. 199–208.
- GOES, A. C. A. M; RODRIGUES, L. V; MENEZES, D. B; GRANGEIRO, M. P. F; CAVALCANTE, A. R. M. S. Análise histológica da cicatrização da anastomose colônica, em ratos, sob ação de enema de Aroeira-do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) a 10%. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 149-51, 2005.
- HENRIQUE P. C, ALVES J. D, DEUNER S, GOULART P. F. P, LIVRAMENTO D. E. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p. 458-465, 2011.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** São Paulo: Nova Odessa, v. 01, 6ª ed, p. 384, 2022.
- LUCA, E. F. de; REBECCHI, R. J.; SCHORN, L. A. Crescimento e qualidade de mudas de cedro (*Cedrella fissilis* Vellozo) em viveiro, mediante diferentes técnicas de produção. **Revista Instituto Florestal**, v.22, n.2, p.189-199, 2010.
- MELLO, M. de J. R.; LEITE, J, A. D.; VASCONCELOS, R. J. de H.; MORAIS, H. H. A. Atividade anti-inflamatória, cicatrizante e antimicrobiana do extrato aquoso de aroeira-do-sertão a 20% (*Myracrodruon urundeuva* fr. All.), aplicado em fraturas expostas induzidas em mandíbula de coelho. **Revista de Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-facial**, v. 13, n. 1, p. 97-104, 2013.
- MENEGASSI, A. D. **Produção de mudas de eucalipto sob diferentes fontes de adubação.** Pato Branco-PR, UTFPR, 2012.
- MONTGOMERY, D. C., PECK, E. A., VINING, G. G. Introduction to Linear Regression Analysis. **Wiley**, 2012.
- OLIVEIRA, A. K. M, PEREZ, S. C. J. G. A. Crescimento inicial de *Tabebuia aurea* sob três intensidades luminosas. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 263-273, 2012.
- ORTOLAN, M. A.; SEGATO, S. V. Massa seca de mudas pré brotadas de cana-de-açúcar em tubete em função da dose do adubo foliar. **Revista Nucleus**, v. 11, n. 2, 2014.
- PAIVA, H. N.; GOMES, J.M. **Viveiros Florestais.** Viçosa: UFV, 2000.
- PAIVA, L. C.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 1, p. 134-140, 2003.
- RAMPAZZO, R.; SEABRA JÚNIOR, S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, S. M. A. S.; FERREIRA, R. F. Eficiência de telas termorefletores e de sombreamento em ambiente protegido tipo telado sob temperaturas elevadas. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 1, p. 33-42, 2014.

- ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M. Shading for water stress mitigation in *Copaifera langsdorffii* seedlings. **South African Journal of Botany**. v. 140, n. 1, p. 240-248, 2021.
- SCHORN, L. A.; FORMENTO, S. **Silvicultura II: produção de mudas florestais**. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Departamento de Engenharia Florestal, 2003.
- SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHIRMER, W. N.; SPERANDIO, H. V. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, p. 1173 - 1186. 2009.
- SALOMÃO, A. N. *Myracrodruon urundeuva*. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: Plantas para o futuro: Região Centro Oeste**. Brasília, DF: MMA, 2016.
- SANTARELLI, E. G. Produção de mudas de espécies nativas. Matas ciliares: conservação e recuperação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 3, p. 313-318, 2004.
- SILVA, A.; DE SOUZA FILHO, E. E.; DA CUNHA, S. B. Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 167-177, 2008.
- SOUZA, J. A.; CANESIN, R. C. F. S.; BUZETTI, S. Mobilidade de boro em mudas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 930-935, 2012.
- TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R. Avaliação de mudas de *Tecoma stans* utilizando bio-sólido e resíduo orgânico. **Revista de Agricultura**, v. 85, p. 218 - 226, 2010.
- VALERI, S. V.; CORRADINI, L. **Fertilização em viveiros para produção de mudas de Eucalyptus e Pinus**. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. Nutrição e Fertilização Florestal. Sp: Ipef. Cap. 6, p. 167-190, 2000.
- VIANA, G. S. B.; MATOS, F. J. A.; BANDEIRA, M. A. M. **Aroeira-do-sertão: estudo botânico, farmacognóstico, químico e farmacológico**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2ª ed, 164p, 1995.
- VIÉGAS, L. B. **Viabilidade do recipiente biodegradável na produção de mudas florestais nativas**. 157f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015.

# CAPÍTULO VIII

## POTENCIAL NUTRICIONAL DA FOLHA DA *PERESKIA ACUALEATA* MILLER (ORA-PRO-NÓBIS) – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### NUTRITIONAL POTENTIAL OF THE LEAF OF *PERESKIA ACUALEATA* MILLER (ORA-PRO-NÓBIS) - BIBLIOGRAPHICAL REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-8

Cláudio Roberto da Silveira<sup>1</sup>  
Carlos Luiz Vieira<sup>2</sup>  
Altacis Junior de Oliveira<sup>3</sup>  
Taniele Carvalho de Oliveira<sup>4</sup>  
Daniela Soares Alves Caldeira<sup>5</sup>  
Emerson de Oliveira Figueiredo<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro agrônomo. Faculdade vilas boas - FVB

<sup>2</sup> Mestre em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>3</sup> Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>4</sup> Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>5</sup> Professora Adjunta da Faculdade de Ciências Agrárias e Biológica – Cáceres. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

<sup>6</sup> Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Cáceres. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT.

#### RESUMO

A *Pereskia aculeata* Miller é uma hortaliça não convencional (PANC), de fácil reprodução e cultivo e resistente a déficit hídrico. Recentemente vem ganhando atenção no meio científico pôr suas características físico-químicas e pelas suas propriedades funcionais. A planta tem sido estudada principalmente a partir das suas folhas e do conteúdo mucilaginoso que é extraído destas. Destacam-se principalmente o alto teor de proteína de alta qualidade e o conteúdo de fibras e minerais, principalmente cálcio e ferro. O objetivo dessa revisão de literatura é fornecer informações das aplicações das folhas da ora-pro-nóbis através da compilação de dados de pesquisas relacionadas à sua composição nutricional, formas de cultivo, formas de consumo, benefícios e comercialização. O presente trabalho teve como objetivo proporcionar uma melhor compreensão das propriedades da folha e potencializar sua divulgação, além de estimular futuros estudos que possam qualificar o uso e possibilitar a produção em escala comercial das hortaliças não-convencionais e justificar o seu resgate e aumento de valor agregado.

**Palavras-chave:** Ferro. Hortaliça não convencional. Lisina. Proteína.

#### ABSTRACT

*Pereskia aculeata* M. is an unconventional vegetable (PANC), easy to reproduce and cultivate and resistant to water deficit. Recently, it has been gaining attention in the scientific world due to its physical-chemical characteristics and functional properties. The plant was studied mainly from its leaves and the mucilaginous content that is extracted from them. The high-quality protein content and fiber and mineral content, particularly calcium and iron, stand out in particular. The objective of this literature review is to provide information on the applications of ora-pro-nóbis leaves through the compilation of research data related to its nutrition, forms of cultivation, forms of consumption, benefits and transactions. The present work aimed to provide a better understanding of the properties of the leaf and enhance its dissemination, in addition to stimulating future studies that can qualify the use and enable the production on a commercial scale of non-conventional and scientific vegetables, their rescue and increase in value aggregate.

**Keywords:** Iron. Unconventional vegetable. Lysine. Protein.



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande biodiversidade de fauna e flora, sendo considerados umas das maiores do mundo. Entretanto, o sistema agroalimentar da maioria das famílias se baseia em uma matriz agrícola convencional, com padrões alimentares limitado e industrializado, que ocasiona em uma subutilização e pouco conhecimento de diversas espécies nativas que apresentam grande potencial econômico e nutricional (PASCHOAL, 2015).

Dentre os alimentos que apresentam pouco destaque no atual sistema alimentar soa as Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs), plantas com uma fonte considerável de nutrientes e além de se apresentarem como alimentos funcionais (KELEN *et al.*, 2015).

O termo PANC, criado em 2008 por Valdely Ferreira Kinupp se refere a plantas que apresentam uma ou mais partes comestíveis, que podem ser espontâneas ou cultivadas, nativas da região ou exóticas que são utilizadas na alimentação (KELEN, *et al.*, 2015). Estas plantas, em sua grande maioria ainda não foram estudadas pela comunidade técnico/científica ou então não apresentam exploração comercial, tendo apenas o consumo regionalizado e pouco consumo e aceitação em outros locais do país (BRASIL, 2010).

Apenas no Brasil, a estimativa é que apresente cerca de 3 mil espécies que se enquadram como PANCs, correspondendo a cerca de 10% da flora do país (KELEN *et al.*, 2015). Estas plantas, em sua grande maioria têm desenvolvimento espontâneo em diferentes climas e ambientes, sendo pouco exigente quanto a nutrição e ótima adaptação (KNUPP; LORENZI, 2014).

Devido ao consumo regional, segundo Pedrosa *et al.* (2012), de forma geral o cultivo de ora-pro-nóbis ocorre pela agricultura familiar, sobretudo por povos tradicionais com cultivo e manejo passado a cada geração sem pretensão comercial e também muito utilizadas na medicina popular e fitoterapia. São consideradas um alimento funcional, devido a sua composição em fibras, sais minerais, vitaminas essenciais e antioxidantes, que são nutrientes requeridos pelo nosso organismo (PEDROSA *et al.*, 2012).

Sendo assim, a *Pereskia aculeata* Miller apresenta-se como uma ótima alternativa de alimento, pertencente à família das Cactáceas é considerada uma planta não endêmica, que não ocorreu interferência do ser humano para acontecer o cultivo na região (ALMEIDA, 2012).

Conhecida no Brasil como ora-pro-nóbis (OPN), apresenta diversos sinônimos para a sua designação com lobrobó, cereja-de-barbados, lobrodo, espinho-desanto-antônio,

groselhada-américa, guaiapá, mata-velha, trepadeira-limão, espinho-preto, jumbeba, cipó-santo, rosamadeira e rogai por nós (ROCHA *et al.*, 2008).

Apresenta fácil cultivo e propagação, com baixa necessidade hídrica, pouca ocorrência de doenças o que contribui para o cultivo doméstico e devido sua composição ser rica em nutrientes, recomenda-se o consumo diário de suas folhas seja na forma in natura ou processada na forma de farinhas, saladas, tortas, refogados e na composição de massas como o macarrão (ROCHA *et al.*, 2008).

Suas folhas são tenras e grossas com presença expressiva de mucilagem, que se assemelham ao presente no fruto do quiabo, com sabor característico (KINUPP, 2006). Com alto potencial proteico, que se compara ao da couve, espinafre e caruru, além de tudo, os seus frutos podem ser consumidos, sendo utilizados para a elaboração de produtos (QUEIROZ *et al.*, 2015).

Diante do exposto, objetivou-se, por meio desta revisão de literatura, apresentar a hortaliça não convencional ora-pro-nóbis, abordando sua origem geográfica predominante, valor nutricional, forma de cultivo, potenciais benefícios para a saúde, considerações importantes no preparo e variedade de formas de consumo. Esta análise tem como propósito promover o compartilhamento de informações tanto entre profissionais quanto entre a comunidade em geral, visando aumentar a conscientização sobre os benefícios desta planta na alimentação e nutrição.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS

O ora-pro-nóbis é considerada uma planta trepadeira semilenhosa, seus ramos podem alcançar até 10 m de altura com auxílio de suporte. De forma isolada, seu porte é arbustivo, suas folhas são simples, simétricas, apresentam forma elíptica com textura coriácea, com até 7 cm de comprimento e 3 cm de largura (EDWARD *et al.*, 2005; HAYASHI, 2005).

O ápice de sua folha é agudo-acuminado, com base aguda, margem inteira e nervura de forma hifódroma, no qual apenas a nervura central é nítida, com pecíolo curto e de duas a seis folhas são agrupadas nos ramos laterais de forma alternada, além da presença de espinhos nas axilas de suas folhas (EDWARD *et al.*, 2005; HAYASHI, 2005).

A *Pereskia aculeata* é nativa da América Tropical, apresentando ocorrência em diversas regiões tropicais do mundo como na Índia Oriental e Oeste da Índia, Panamá e América do

Sul, Filipinas, Califórnia, Austrália, Hawái, Bermudas, Israel e sul da África (ALMEIDA FILHO; CAMBRAIA, 1974; MORTOM, 1987; OLCKERS, 2004). Edwards *et al.* (2005), identificaram a ocorrência de espécies do gênero *Pereskia* em ecossistemas áridos e semiáridos.

Segundo Duarte e Hayashi (2005) e Edwards *et al.* (2005), *Pereskia aculeata* apresenta ocorrência principalmente em regiões úmidas ou levemente áridas. Em contrapartida, os estudos fitosociológicos e florísticos realizados por Udulutsch (2010), apontam a ocorrência também em florestas tropicais alteradas, conhecidas como secundárias avançadas. Todas estas características, demonstram a alta capacidade adaptativa da espécie.

No Brasil, OPN apresenta grande distribuição desde à Bahia ao Rio Grande do Sul, sendo seu habitat de maior ocorrência as florestas tropicais. Seu cultivo normalmente acontece no meio rural e urbano de forma doméstica. O cultivo comercial associado, encontra-se principalmente na região de Sabará-MG, com o turismo gastronômico (KINUPPI, 2006).

Segundo Kinuppi (2006), para a exploração comercial, OPN não apresenta pacote tecnológico para seu cultivo. O ora-pro-nóbis possui em suas folhas alto teor de nutrientes essenciais como, ferro e cálcio, além de fibras e não apresentar toxicidade. Estas características contribuem para a composição de um alimento de qualidade para o consumidor (TAKEITI *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2016).

De acordo com Mercê *et al.* (2001), a presença de mucilagem com o biopolímero arabinogalactana e elevado valor proteico, despertou o interesse das indústrias farmacêutica e alimentar, sua mucilagem é empregada na indústria na forma de aditivo de alimentos processados e em pomadas para proporcionar consistência.

Esse aspecto nutricional, dá ao OPN o status de uma planta nutracêutica devido ao seu alto percentual de proteína e ferro nas folhas, sendo esta proteína considerada de alto valor biológico devido a composição de seus aminoácidos, que são acima do necessário para o consumo humano de acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO) (SIERAKOWKI *et al.*, 1987), principalmente a lisina.

De acordo com sua baixa exigência de tratamentos culturais e demandas hídricas, é considerada uma hortaliça de baixo custo de produção e cultivo, sendo na maioria das vezes doméstico com início de colheita de 2 a 3 meses após a realização do plantio (ROMANO *et al.*, 2017).

Com tudo, o fornecimento de OPN no mercado não apresenta regularidade ocorrendo de forma esporádica, o incentivo à produção de Ora-pro-nóbis para o incentivo de desenvolvimento local, apresenta-se como uma possibilidade para que ocorra a diversificação na agricultura familiar, quando conduzida de forma correta permite agregar valor à alimentação e renda (ROMANO *et al.*, 2017).

Os principais estudos científicos encontrados sobre *Pereskia aculeatae* estão relacionados às áreas químicas e farmacológicas. Os trabalhos realizados por Almeida Filho e Cambraia, 1974; Silva *et al.* 2006; Almeida, 2012, abordam as características nutricionais e, ou, medicinais, a partir de avaliações da composição mineral e de metabólitos secundários.

A maioria das informações relacionadas ao cultivo do ora-pro-nóbis se limita aos aspectos técnicos ou são pouco abrangentes sob o aspecto agrônômico (ALMEIDA, 2012). Tendo em vista as várias propriedades nutricionais e os benefícios já encontrados, percebe-se a necessidade de estudos relacionados a geração de técnicas e tecnologias para o cultivo do ora-pro-nóbis, de forma a obter quantidade e qualidade compatíveis com seu potencial (ROMANO *et al.*, 2017).

## 2.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E POTENCIAL NUTRICIONAL DA FOLHA DE ORA-PRO-NÓBIS

Considerando a atual situação mundial, marcada pelas mudanças climáticas, em especial a falta de água em muitas áreas, a importância das cactáceas torna-se crescente, pelo seu potencial de produzir alimentos e cobertura vegetal e por sua grande habilidade de resistir a períodos longos de estiagem, como salientam Araújo *et al.* (2010).

A agregação de valores a produtos tradicionais, alimentícios e farmacêuticos ou diferenciados tende a se intensificar como uma forma primordial para o desenvolvimento dos negócios, Schneider e Gazolla (2011), abordam essas novas alternativas no âmbito do desenvolvimento local, como uma produção de novidades.

Assim, o ora-pro-nóbis, cujo produto econômico é a folha, configura mais recentemente, mas, precariamente, dentre as cactáceas, como a palma-forrageira, *Opuntia sp*, e a pitaya, *Hylocereus undatus haw*, que já possuem valor econômico evidenciado (BASTOS *et al.*, 2006).

Observa-se também, que a cultura tem elevado seu potencial gastronômico, principalmente nas cidades históricas de Minas Gerais, Brasil. O que é uma forma de agregação de valor ao produto e atrativo turístico local em Sabará, MG, que criou o Festival

do ora-pro-nóbis. Estando presente na gastronomia local de Sabará e de cidades históricas de Minas Gerais, em circuitos gastronômicos de abrangência nacional e internacional, como o Circuito Gastronômico de Tiradentes, MG (PEREIRA *et al.*, 2011).

### 2.3. CULTIVO DE ORA-PRO-NÓBIS

A cultura de OPN é bem adaptada às condições de clima tropical e subtropical, uma espécie perene de porte arbustivo e para seu desenvolvimento é necessário precipitação anual variando de 1200 mm a 1800 mm e temperaturas médias anuais entre 18 °C e 23 °C, com máximas anuais entre 25 °C e 31 °C e mínimas nos meses mais frios entre 10 °C e 15 °C (MADEIRA *et al.*, 2016).

A época recomendada para o plantio varia conforme a região, na Tabela 1 desenvolvida pela Embrapa no ano de 2016 apresenta as melhores épocas de acordo com a altitude de cada região (MADEIRA *et al.*, 2016).

Tabela 1 – Época de plantio de ora-pro-nóbis em função de região e altitude

Região	Altitude (m)	J <sup>1</sup>	F <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	A <sup>4</sup>	M <sup>5</sup>	J <sup>6</sup>	J <sup>7</sup>	A <sup>8</sup>	S <sup>9</sup>	O <sup>10</sup>	N <sup>11</sup>	D <sup>12</sup>
Sul	>700									X	X	X	
Sul	400 - 700								X	X	X	X	X
Sul	0 – 400	X							X	X	X	X	X
Sudoeste	>600	X	X						X	X	X	X	X
Sudoeste	0 – 600	X	X						X	X	X	X	X
Centro-Oeste	>300								X	X	X	X	X
Nordeste	>500	X	X	X									X

<sup>1</sup>Janeiro; <sup>2</sup>Fevereiro; <sup>3</sup>Março; <sup>4</sup>Abril; <sup>5</sup>Maio; <sup>6</sup>Junho; <sup>7</sup>Julho; <sup>8</sup>Agosto; <sup>9</sup>Setembro; <sup>10</sup>Outubro; <sup>11</sup>Novembro; <sup>12</sup>Dezembro.

Fonte: Adaptado de Madeira *et al.* (2016).

A propagação da OPN é considerada simples, através de semente ou por estaquia caulinar com facilidade de enraizamento (MUNIZ, 2008). Adaptável a diferentes tipos de solo, não exigente em fertilidade e melhor sob luz solar plena (GRONNER *et al.*, 1999).

A OPN apresenta fácil crescimento, tanto a partir de sementes quanto de estacas, a temperatura ótima para o crescimento está entre 25 °C e 30 °C e em condição de seca extrema (meses ou mesmo anos) os caules secam, mas há capacidade de rebrota a partir da base do caule (LEUENBERGER, 1992).

Há recomendação de poda leve a cada intervalo de três meses para que as folhas permaneçam tenras e novas, este processo também é fundamental para eliminar ramos baixeiros que tendenciam a desenvolvimento rasteiros (ACCORSI; DOSOUTO, 2006).

As folhas da OPN podem ser atacadas por fungos foliares patogênicos, como o ferruginoso *Uromyces pereskiae* e os causadores de manchas *Pseudocercospora pereskiae* sp. e *Cercospora apii*, os quais podem causar dano extensivo às plantas (DA COSTA LIMA *et al.*, 2022).

O ataque de lagartas desfolhadoras ocorre esporadicamente, especialmente quando da migração de lavouras adjacentes e em fase final de ciclo, é comum também a ocorrência esporádica de lagartas mede-palmo (*Trichoplusia spp*) (MADEIRA *et al.*, 2016).

A colheita deve ser efetuada mediante poda das hastes com pleno desenvolvimento, em torno de 70 cm a 100 cm de comprimento e folhas completamente expandidas, o número de hastes por planta pode variar entre 10 e 30, preferencialmente a colheita deve ser efetuada nas horas mais frescas do dia para conservação das folhas (MADEIRA *et al.*, 2016).

## 2.4. CARACTERÍSTICAS E VALORES NUTRICIONAIS

O interesse econômico pela espécie se intensificou nos últimos anos pela indústria alimentícia e farmacológica, sobretudo pelo alto teor de proteínas e mucilagem que apresentam em suas folhas, consumidas na culinária regional e como emolientes na medicina popular (ALMEIDA FILHO; CAMBRAIA, 1974).

Este fato despertou o interesse de indústrias farmacêuticas e de alimentos nutracêuticos, como matéria-prima na produção de complementos alimentares, mais especificamente por apresentarem alto teor do biopolímero arabinogalactana (MERCÊ *et al.*, 2001).

Almeida Filho e Cambraia (1974), destacaram o aspecto alimentar da espécie *P. aculeata* Mill, cujas folhas apresentam alto teor de proteína e de lisina. Os teores determinados de proteína bruta foi de 17,4% a 25,4%, embora conhecidas amplamente como planta de quintal, poucos foram os estudos científicos encontrados sobre as características alimentares da *P. aculeata*, suas folhas são utilizadas na alimentação humana e animal, onde na alimentação humana, podem ser usadas em forma de salada ou em cozidos (ALMEIDA FILHO; CAMBRAIA, 1974). Morton (1987), determinou a composição nutricional de *P. aculeata* encontrada em suas folhas (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição nutricional de folhas e frutos de *Pereskia aculeata* por 100 g de massa seca

Análises	Valores
Proteína (g/100g)	27,06
Lipídios (g/100g)	10,34
Fibras (g/100g)	28,70
Cálcio (mg/100g)	2,8 - 3,4
Ferro (mg/100g)	20,56

Fonte: Adaptado de Morton (1987) e Almeida *et al.* (2012).

As plantas de ora-pro-nóbis apresentam nas folhas, alto teor de aminoácidos essenciais como cálcio, ferro e fibras, além de ausência de toxicidade, tais qualidades caracterizam-na como uma promissora fonte de alimento de qualidade ao alcance da população (TAKEITI *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2016).

Almeida Junior e Cambraia (1974), destacaram o aspecto alimentar da espécie *P. aculeata* Mill, cujas folhas apresentam alto teor de proteína e de lisina. Os teores determinados de proteína bruta foram em média de 17,4% a 25,4% (ALMEIDA JUNIOR; CAMBRAIA, 1974). Estudos demonstram teores de proteína em *P. aculeata* de 24,73% e de lisina de 1,153 gramas por 100 gramas de massa seca, considerados altos em relação a outras hortaliças não convencionais como serralha mostarda e taioba (Tabela 3).

Diversas espécies ainda sub-exploradas da flora brasileira, podem constituir uma fonte de alternativa e uma opção de diversificação cultural, na atividade agropecuária, sobretudo na agricultura familiar e que a maioria das plantas não-convencionais é desconhecida, e um reduzido número delas apresenta comprovação científica de suas propriedades, onde para maior valorização das plantas tradicionais de uso popular são necessários conhecimentos técnicos sobre seu cultivo e uso em grande escala (SILVA *et al.*, 2005).

Tabela 3 – Teor de lisina em ora-pro-nóbis e em alguns vegetais (g/100 g de massa seca – MS)

Espécie	Lisina (g/100g MS)
Ora-pro-nóbis	1,153
Milho híbrido	0,230
Couve	0,050
Alface	0,050
Espinafre	0,160

Fonte: Adaptado de Cambraia e Filho (1974).

No contexto da economia familiar, Silva *et al.*, (2005), destacaram a importância da taioba, ora-pro-nóbis, serralha e mostarda como hortaliças não-convencionais, consumidas

pelas populações rurais e urbanas, e que contribuem para complementar a alimentação e a economia familiar. Mas, de maneira geral, as hortaliças dessa categoria não são produzidas comercialmente. Numa perspectiva futura, poderiam ser incluídas na diversificação da produção, principalmente para os grupos de baixa renda, por apresentarem, em princípio, baixa exigência em insumos agroindustriais (SILVA *et al.*, 2005).

O ora-pro-nóbis já teve seu valor biológico evidenciado por diversos estudos, sendo assim considerado uma importante fonte de proteínas, fibras e minerais principalmente cálcio e ferro (AMEIDA, 2012). O teor de proteína encontrado em ora-pro-nóbis é considerado alto (Tabela 4), o que o torna uma ótima fonte alternativa de proteínas para alimentação, em especial para suplementação de indivíduos em desenvolvimento.

Tabela 4 – Teor de proteína (g/100 g de Matéria Seca - MS)

Teor de proteína	(g/100 de MS) Autores
17,63	Creiasco <i>et al.</i> (2016)
40,68	Sobrinho <i>et al.</i> (2015)
27,06	Santana <i>et al.</i> (2018)
27,79	Gonçalves <i>et al.</i> (2015)

Fonte: Adaptado de Creiasco *et al.* (2016); Sobrinho *et al.* (2015); Santana *et al.* (2018); Gonçalves *et al.* (2015).

Na literatura foram encontrados trabalhos científicos com diferentes teores de proteínas que variaram de 17,63 g/100 g de matéria seca (CREMASCO *et al.*, 2016), a 40,68 g/100 g matéria seca (SOBRINHO *et al.*, 2015).

Santana *et al.* (2018), estudando o desenvolvimento de suplemento alimentar utilizando ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*), encontrou teores de proteína igual a 27,06 g/100 g de matéria seca, valores estes similares ao encontrado por (GONÇALVES *et al.*, 2015), de 27,79 g/100 g matéria seca. Estas variações dos resultados obtidos na literatura são atribuídas às características das folhas, solo e condições climáticas da região de cultivo (CREMASCO *et al.*, 2016).

Segundo Queiroz *et al.* (2015), a composição do ora-pro-nóbis também pode sofrer influência da luminosidade, onde uma maior quantidade de cinzas foi encontrada em folhas de plantas cultivadas em regiões com mais insolação e luminosidade.

Além disso, a sazonalidade é outro fator que pode acarretar alterações nos componentes dos vegetais, o ambiente quando passa por mudanças de temperatura, umidade e luz acabam influenciando nos teores de proteínas, lipídeos, fibras e açúcares,

resultando em maiores concentrações destes no período do verão (VARGAS *et al.*, 2016). Outro aspecto positivo da folha são os baixos níveis de lipídios (Tabela 5).

Tabela 5 – Composição de lipídios (%) da *P. aculeata* obtidos por diferentes autores

Lipídios	(%) Autores
10,23	Santana <i>et al.</i> (2018)
5,23	Almeida <i>et al.</i> (2012)
5,07	Sobrinho <i>et al.</i> (2015)

Fonte: Adaptado de Santana *et al.* (2018); Almeida *et al.* (2012); Sobrinho *et al.* (2015).

Como pode ser observado (Tabela 5) com exceção do valor encontrado por Santana *et al.* (2018), que foi de 10,23%, os teores de lipídeos encontrados em outros estudos não tiveram grandes variações e não ultrapassaram 5,23%, valores próximos ao encontrados por (ALMEIDA *et al.*, 2012) de 5,07%, e por (SOBRINHO *et al.*, 2015) de 5,23%.

Segundo Vargas e Teixeira (2017), a ausência de grandes variações nos resultados da fração lipídica se deve por não sofrer influência da sazonalidade. Estes baixos valores permitem que as folhas da OPN possam ser utilizadas em dietas hipocalóricas ou com restrição de gordura (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Para o teor de carboidratos, estudos demonstraram grandes discrepâncias entre os valores obtidos na literatura (Tabela 6). Em todos os estudos a fração de carboidratos encontrada se apresentou como o composto majoritário.

Tabela 6 – Percentual de carboidratos presente na *P. aculeata* obtidos por diferentes autores

Carboidrato (%)	Autores
46,03*	Vargas e Teixeira (2017)
48,47**	Vargas e Teixeira (2017)
58,99	Souza (2014)
48,39	Barbalho <i>et al.</i> (2016)
43,23	Santana <i>et al.</i> (2018)
24,8	Martinevski <i>et al.</i> (2013)

\* Inverno. \*\* Verão

Fonte: Adaptado de Vargas e Teixeira (2017); Souza (2014); Barbalho *et al.* (2016); Santana *et al.* (2018); Martinevski *et al.* (2013).

O percentual de carboidratos segundo Vargas e Teixeira (2017), determinaram por diferença o teor de 46,03% de carboidrato no inverno e 48,47% no verão (Tabela 6). Outros dois autores também determinaram carboidratos por diferença de folhas desidratadas, encontrando diferentes valores, 58,99% (SOUZA, 2014), e 48,39% (BARBALHO *et al.*, 2016).

Já Santana *et al.* (2018), utilizaram o método de Lane-Eynon para determinação do teor de carboidratos e encontraram o valor de 43,23%. Além disso, Martinevski *et al.* (2013), determinou por diferença, mesmo método utilizado pela maior parte dos estudos, obteve valor mais baixo de 24,80 % respectivamente.

Tais divergências podem estar relacionadas principalmente à fatores ambientais e sazonais já mencionados, além dos diferentes métodos de determinação, mesmo com as variações, o valor de carboidratos totais das folhas OPN é significativo e pode auxiliar no sabor das folhas quando utilizadas como suplemento alimentar (SANTANA *et al.*, 2018).

As folhas do ora-pro-nóbis apresentam alto conteúdo de fibras (Tabela 7). Comparando os valores com os resultados obtidos pelos estudos, onde o teor mínimo de fibras obtido foi 11,13 g fibras/100 g por Sobrinho *et al.* (2015), e o máximo foi de Santana *et al.* (2018), de 28,70 g fibras/100 g. Cremasco *et al.* (2016), encontrou valores de 11,94 g fibras/100 g, valor bem abaixo ao encontrado por Almeida *et al.* (2012), que foi de 21,60 fibras/100 g.

Mesmo com a diferença do teor de fibra entre os trabalhos realizado o consumo de apenas 100 gramas das folhas de OPN já pode fornecer em torno de 50% do total de fibras recomendado (SATO *et al.*, 2018).

Tabela 7 – Composição de fibra (g fibras/100 g) da folha de ora-pro-nóbis obtidos por diferentes autores

Fibras (g fibras/100 g)	Autores
11,13	Sobrinho <i>et al.</i> (2015)
28,7	Santana <i>et al.</i> (2018)
11,94	Cremasco <i>et al.</i> (2016)
21,6	Almeida <i>et al.</i> (2012)

Fonte: Adaptado de Sobrinho *et al.* (2015); Santana *et al.* (2018); Cremasco *et al.* (2016) Almeida *et al.* (2012).

Alguns estudos identificaram e quantificaram os minerais presentes nas folhas da ora-pro-nóbis principalmente altos teores de cálcio e ferro. Almeida *et al.* (2012), realizou seu estudo sobre a caracterização química da hortaliça não-convencional ora-pro-nóbis, no qual obteve o teor de cálcio igual a 2.860 mg/100g matéria seca (Tabela 8), valores semelhantes para cálcio foram encontrados por (CREMASCO *et al.*, 2016), de 2.880 mg/100g, matéria seca.

Tabela 8 – Composição nutricional de cálcio (mg/100g Matéria Seca - MS) de ora-pro-nóbis obtidos por diferentes autores

Cálcio (mg/100g de MS)	Autores
2.860	Almeida <i>et al.</i> (2012)
2.880	Creiasco <i>et al.</i> (2016)
3.600	Sato <i>et al.</i> (2018)
2.160	Oliveira <i>et al.</i> (2013)

Fonte: Adaptado de Almeida *et al.* (2012); Creiasco *et al.* (2016); Sato *et al.* (2018); Oliveira *et al.* (2013).

Sato *et al.* (2018), relataram valores um pouco mais altos, de 3.600mg /100g matéria seca. Entretanto, outros estudos apresentaram valores bem mais baixos destes minerais, como por exemplo, Oliveira *et al.* (2013), que encontrou 2.160 mg/100g matéria seca.

Considerando os microelementos, vale salientar os teores ferro das folhas, Almeida *et al.* (2012), em seu estudo obteve o valor de 20,56 mg/100g matéria seca. Já Oliveira *et al.* (2013), reportaram valores bem abaixo, de 9,4 mg/100g matéria seca, valores este próximo aos encontrados por Creiasco *et al.* (2016), que obtiveram o valor de 10,6 mg/100g matéria seca. Conforme (Tabela 9).

Tabela 9 – Composição nutricional de Ferro (mg/100g Matéria Seca - MS) de ora-pro-nóbis obtidos por diferentes autores

Ferro (mg/100g de MS)	Autores
20,56	Almeida <i>et al.</i> (2012)
10,6	Creiasco <i>et al.</i> (2016)
9,4	Oliveira <i>et al.</i> (2013)

Fonte: Adaptado de Almeida *et al.* (2012); Creiasco *et al.* (2016); Oliveira *et al.* (2013).

## 2.5. FORMAS DE USO

Do ponto de vista cultural, as espécies não convencionais podem ser também denominadas plantas tradicionais, pois o hábito de consumi-las está intimamente associado à cultura regional ou local, cuja disseminação depende da transmissão natural de conhecimentos entre as gerações (ALMEIDA, 2012).

Essas espécies, ainda não receberam a devida atenção por parte da comunidade técnico científica e da sociedade como um todo, resultando em consumo restrito a algumas localidades ou regiões, com dificuldade de penetração para as demais regiões do país (BRASIL, 2010).

Além disso, essas culturas não estão organizadas como cadeia produtiva propriamente dita, não despertando o interesse de empresas de sementes, fertilizantes ou agroquímicos, por esse motivo, grande número dessas espécies passou a fazer parte do Programa de Resgate de Plantas Não Convencionais (BRASIL, 2010) e de projetos que envolvem o Ministério da Agricultura e Abastecimento, a Secretaria da Agricultura e Abastecimento de Minas Gerais, a Embrapa, a Epamig e a Universidade Federal de Viçosa.

A *Pereskia aculeata* pode ser consumida suas folhas seja na forma in natura ou processada na forma de farinhas, saladas, tortas, refogados e na composição de massas como o macarrão (ROCHA *et al.*, 2008). Alimentos com compostos da *Pereskia aculeata* Miller tem tido influência pelos seus benefícios ao uso por vegetarianos, veganos e até mesmo como suplementos alimentares, podendo satisfazer a procura de proteínas comestíveis, ao mesmo tempo que fornecem nutrientes essenciais a dieta humana de uma forma mais sustentável. (MILIAO *et al.*, 2022; ALVES; TAVARES, 2019).

A OPN tem tido grande utilização para fins farmacológicos na medicina popular brasileira, na qual é atribuído as suas propriedades metabólicas, anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas entre outros benefícios (PORTO *et al.*, 2023).

Alguns estudos de pesquisa feitos em ratos em laboratórios no qual foi administrado uma alimentação com farinha de folhas de ora-pro-nóbis, foi observado uma melhoria significativa na saúde dos animais, como redução de ganho de peso, gorduras viscerais, níveis de colesterol total, triglicerídeos, lipoproteína de baixa densidade, aumento do HDL-c e aumento metabólico intestinal (BARBALHO *et al.*, 2016).

Alguns estudos clínicos duplo cegos realizados em humanos notaram que o consumo de farinha de folha de ora-pro-nóbis em biscoitos e bebidas melhorou a saúde intestinal e reduziu o peso, além de reduzir medidas corporais da cintura e gordura corporal e que também apresentava aumento da saciedade (MARQUES). Conforme observado por estes autores está pode ser uma alternativa natural para melhoria da saúde humana que estão associadas a presença de fibra alimentar e compostos fitoquímicos, como polifenóis nas folhas de OPN (BARBALHO *et al.*, 2016).

A utilização de farinha (folhas secas e moídas de OPN) tem sido estudada na formulação alimentícias, onde vem sendo observado a sua aceitação em alguns produtos, já existe trabalhos realizados com a inserção de farinha de folhas OPN em salsichas cozidas, na qual é avaliado a textura, cor e aceitação sensorial (SOBRINHO *et al.*, 2015). Estes autores

observaram que a inserção de 1 a 2% de farinha de folha de OPN apresentavam se mais escuras e macias que as salsichas controle, enquanto a aceitação sensorial se manteve inalteradas.

Sato *et al.* (2018) estudou o efeito de adição de 10 a 20% de farinha de folhas de OPN em massas alimentícias, com o intuito de avaliar a textura, cor, sabor, odor, e a aparência geral. Os autores notaram que comparado com a controle as massas enriquecidas com a farinha de folha de OPN apresentaram ser mais escuras, mais macias, ganharam mais peso durante o cozimento, perderam menos peso após o cozimento e apresentam maiores teores de fibras, proteínas e minerais. Já a cor, o sabor, o odor, a textura e a aparência geral foram igualmente apreciadas aos consumidores dos dois tipos de massa (SATO *et al.*, 2018)

Outro trabalho realizado estudo por MARQUES (2024) no qual foi avaliado o efeito de bebida láctea contendo 5% de adição de farinha de folha de OPN, na microbiota intestinal, sintomas gastrointestinais e parâmetros antropométricos em mulheres de 20 até 60 anos de idade. Os resultados demonstram que o consumo da bebida láctea com 5% de adição de farinha de folha de OPN em um período de seis semanas, apresentou melhoras na consistência das fezes, apresentou melhoras na saciedade e redução de peso, diminuiu a circunferência da cintura e o percentual de gordura corporal, porém não apresentou nenhum efeito na microbiana intestinal (MARQUES, 2024).

Outra forma de utilização da OPN que vem sendo estudada é a mucilagem na utilização industriais alimentícias, conforme avaliado por Lise *et al.* (2021) analisaram o poder da mucilagem de OPN como substituto e emulsificante de gorduras na produção de produto cárneo tipo mortadela, os pesquisadores puderam observar que é possível reduzir o teor de gordura da mortadela sem prejudicar sua textura e característica sensoriais.

Os estudos do potencial terapêutico de plantas medicinais e de alguns de seus constituintes tem sido objeto de incessantes estudos, em que já foram comprovadas as ações farmacológicas através de testes pré-clínicos com animais. Muitas destas substâncias têm contribuído ao longo dos anos para obtenção de vários fármacos de ampla utilização clínica, onde existem grandes possibilidades de futuramente mais substâncias virem a ser aproveitadas como agentes medicinais (MONTANARI; BOLZANI, 2001).

Desta maneira conforme os estudos apresentados é possível observar que a *Pereskia aculeata* demonstra potencial em diversos produtos alimentícios e farmacêuticos e tem sido

explorado e testados, apresentando melhora em seu conteúdo nutricional, mantendo suas propriedades e tendo aceitação sensoriais (MARQUES, 2024).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas PANCs apresentam diversos benefícios para a alimentação humana, complementando o suprimento de nutrientes necessários para uma alimentação balanceada. Devidos às características de cultivo e potencial nutricional e farmacológico do ora-pro-nóbis, apresenta-se como uma ótima alternativa para a exploração comercial sobretudo na agricultura familiar. Entretanto, são necessários mais trabalhos científicos e uma maior difusão dos conhecimentos já existentes sobre os benefícios deste alimento e técnicas de cultivo, pois apenas assim é possível aumentar o consumo pela população juntamente com a agregação de valor no produto para a agricultura familiar.

### REFERÊNCIAS

- ACCORSI, W.; DOSOUTO, R. Ladainha comestível. **Revista Globo Rural**, v. 244, p. 2, 2006.
- ALMEIDA FILHO, J.; CAMBRAIA, J. Estudo do valor nutritivo do “ora-pro-nobis” (*Pereskia aculeata* Mill.). **Revista Ceres**, v. 21, n. 114, p. 105-111, 1974.
- ALMEIDA, M. E. F. de. **Farinha de folhas de cactáceas do gênero Pereskia: caracterização nutricional e efeito sobre ratos Wistar submetidos à dieta hipercalórica**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- ALMEIDA, M. E. F. de; JUNQUEIRA, A. M. B.; SIMÃO, A. A.; CORRÊA, A. D. D. Caracterização química das hortaliças não-convencionais conhecidas como ora-pro-nóbis. **Bioscience Journal** (no prelo), 22 p., 2012.
- ALMEIDA, M. E. F.; CORRÊA, A. D. Utilização de cactáceas do gênero Pereskia na alimentação humana em um município de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p. 751-756, 2012.
- ALVES, A. C.; TAVARES, G. M. Misturar proteínas animais e vegetais: é uma forma de melhorar as tecno funcionalidades das proteínas? **Hidrocolóides Alimentares**, v. 97, p. 105171, 2019.
- ARAÚJO, N. A.; MOREIRA, R. A.; MARQUES, V. B.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. R. Omissão de macro e micronutrientes no crescimento de pitaia (*Hylocereus undatus*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal. **Anais...** Natal: Centro de Eventos, 2010. p. 1-4.
- BARBALHO, S. M.; GUIGUER, É. L.; MARINELLI, P. S.; DO SANTOS BUENO, P. C.; PESPINI-SALZEDAS, L. M.; DOS SANTOS, M. C. B.; DE ALVARES GOULART, R. *Pereskia aculeata* Miller flour: metabolic effects and composition. **Journal of Medicinal Food**, v. 19, n. 9, p. 890-894, 2016.

- BASTOS, D. C.; PIO, R.; SCARPARE FILHO, J. A.; LIBARDI, M. N.; ALMEIDA, L. F. P.; GALUCHI, T. P. D.; BAKKER, S. T. Propagação da pitaya 'vermelha' por estaquia. **Ciência Agrotécnica**, v. 30, n. 6, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de hortaliças não convencionais**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: MAPA/ACS, 2010.
- CREMASCO, C.; GODINHO, A.; BOSO, A. C. M. R.; BOAS, A. V.; NETO, M. M.; GABRIEL FILHO, L. Bromatological and sensorial evaluation of *Pereskia aculeata* use in pasta dough. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 3, p. 234-240, 2016.
- DA SILVA PORTO, F. G.; CAMPOS, A. D.; CARRENO, N. L. V.; GARCIA, I. T. S. *Pereskia aculeata* folhas: propriedades e potencialidades para o desenvolvimento de novos produtos. *Natureza & Produtos Naturais Research*, 2021.
- DA COSTA LIMA, M. S.; DE SOUZA, E. B.; DA SILVA SAMPAIO, V. Non-Conventional Food Plants (PANC) and the Challenge of Valuing Unknown Wealth: a case study in the municipality of Itaipaba, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2164-2177, 2022.
- DUARTE, M. R.; HAYASHI, S. S. Estudo anatômico de folha e ramo de *Pereskia aculeata* Mill. (Cactaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 2, p. 103-109, 2005.
- EDWARDS, E. J.; NYFELER, R.; DONOGHUE, M. J. Basal cactus phylogeny: implications of *Pereskia* (Cactaceae) paraphyly for the transition to the cactus life form. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 7, p. 1177-1188, 2005.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Sustainable Diets and Biodiversity: Directions and Solutions for Policy, Research and Action**. FAO, 2012.
- GONÇALVES, J. P. Z. et al. Quantificação de proteínas e análise de cinzas encontradas nas folhas e caule da Ora-Pro-Nóbis (*Pereskia aculeata* Miller). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 25., 2016, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCTA, 2016. p. 3127-3132.
- GRONNER, A.; SILVA, V. D.; MALUF, W. R. **Ora-Pro-Nobis (*Pereskia aculeata*): a carne de pobre**. Lavras: UFLA, 1999. (Boletim Técnico de Hortaliças, 37).
- KELEN, M. E. B.; NOUHUYS, I. S. V.; KEHL, L. C.; BRACK, P.; SILVA, D. B. **Plantas alimentícias não convencionais (PANCs): hortaliças espontâneas e nativas**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015.
- KINUPP, V. F. Plantas alimentícias alternativas no Brasil: uma fonte complementar de alimento e renda. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p. 333-336, 2006.
- KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 846-857, 2008.

- KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.
- LEUENBERGER, B. E. Observations on the growth of seedlings of *Pereskia* (Cactaceae). **Cactus and Succulent Journal**, v. 64, n. 5, p. 237-241, 1992.
- LISA, C. C.; MARQUES, C.; DA CUNHA, M. A. A.; MITTERER-DALTOÉ, M. L. Proteína alternativa de mucilagem de folhas de *Pereskia aculeata* Miller: potencial tecnológico como emulsificante e substituto de gordura em carne processada de mortadela. **European Food Research and Technology**, v. 247, p. 851-863, 2021.
- MADEIRA, N.R.; AMARO, G.B.; MELO, R.A.D.C.E.; BOTREL, N.; ROCHINSKI, E. **Cultivo de Ora-pro-Nóbis (*Pereskia*) em Plantio Adensado Sob Manejo de Colheitas Sucessivas**. Circular Técnica 156; Embrapa Hortaliças: Brasília, Brazil, 2016; Disponível em: [<https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-1066888/Description>]. Acesso em: 21 de jun. 2024.
- MARQUES, C. R. V. **Desenvolvimento de produtos funcionais à base de farinha de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) e realização de ensaios clínicos**. 2023. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2023. Disponível em: [http://bdtd.unifal-mg.edu.br:8080/bitstream/tede/1604/5/Tese de Camilla Ribeiro Vieira Marques.pdf](http://bdtd.unifal-mg.edu.br:8080/bitstream/tede/1604/5/Tese%20de%20Camilla%20Ribeiro%20Vieira%20Marques.pdf). Acesso em: 21 jun. 2024.
- MARTINEVSKI, C. S.; OLIVEIRA, V. R.; RIOS, A. O.; FLORES, S. H.; VENZKE, J. G. Utilização de Bertalha (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis) e Ora-Pro-Nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.) na elaboração de pães. **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 3, p. 1-6, 2013.
- MERCE, A. L. R.; LANDALUZE, J. F.; MANGRICH, A. S.; SZPOGANICZ, B.; SIERAKOWSKI, M. R. **Complexes of arabinogalactan of *Pereskia aculeata* and Co<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, and Ni<sup>2+</sup>**. *Bioresource Technology*, Curitiba: Departamento de Química, Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, v. 76, n. 1, p. 29-37, 2001.
- MILIÃO, G. L.; DE OLIVEIRA, A. P. H.; DE SOUZA SOARES, L.; ARRUDA, T. R.; VIEIRA, É. N. R.; DE CASTRO LEITE JUNIOR, B. R. Unconventional Food Plants: Nutritional Aspects and Perspectives for Industrial Applications. **Future Foods**, 2022.
- MONTANARI, C. A.; BOLZANI, V. S. Planejamento racional de fármacos baseado em produtos naturais. **Química Nova**, v. 24, n. 1, p. 105-111, 2001.
- MORTON, J. F. **Barbados gooseberry**. In: *Fruits of Warm Climates*. Miami: Creative Resource Systems, Inc., 1987. p. 349-351.
- MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação da disponibilidade de ferro de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em comparação com carne bovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, 2006.
- MUNIZ, H. J. T. **Colecionando frutas: 100 espécies de frutas nativas e exóticas**. Arte & Ciência Editora, 2008.

- OLCKERS, T. Targeting emerging weeds for biological control in South Africa: the benefits of halting the spread of alien plants at an early stage of their invasion. **South African Journal of Science**, n. 100, p. 64-69, 2004.
- OLIVEIRA, D. D. C. D. S.; WOBETO, C.; ZANUZO, M. R.; SEVERGNINI, C. Composição mineral e teor de ácido ascórbico nas folhas de quatro espécies olerícolas não-convencionais. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 472-475, 2013.
- PASCHOAL, V.; SOUZA, N. S. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC)**. In: CHAVES, D. F. S. *Nutrição Clínica Funcional: Compostos Bioativos dos Alimentos*. São Paulo: VP Editora, 2015. Cap. 13. p. 302-323.
- PEDROSA, M. W.; MASCARENHAS, M. H. T.; CARVALHO, E. R. O.; SILVA, L. S.; SANTOS, I. C.; CARLOS, L. A. **Hortaliças não convencionais: saberes e sabores**. Belo Horizonte, 2012.
- PEREIRA, R. G. F.; SOUZA, M. R. M.; PEREIRA, P. R. G. Experiências locais e investigação científica na produção do ora-pro-nobis. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, p. 1-4, 2011.
- PORTO, F. G. D. S. **Estabilidade de quitosana em ácido pirolenhoso destilado e desenvolvimento de filmes com adição de mucilagem de ora-pronóbis**. 2023. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023. Disponível em: [https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/12834/Tese\\_Fabiane\\_Grecco\\_da\\_Silva\\_Porto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/12834/Tese_Fabiane_Grecco_da_Silva_Porto.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 21 jun. 2024.
- QUEIROZ, C. R. A. D. A.; ANDRADE, R. R. D.; MORAIS, S. A. L. D.; PAVANI, L. C. Growing *Pereskia aculeata* under intermittent irrigation according to levels of matric potential reduction. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 1-8, 2015.
- ROCHA, D. R. C.; PEREIRA JÚNIOR, G. A.; VIEIRA, G.; PANTOJA, L.; SANTOS, A. S.; PINTO, N. A. V. D. Macarrão adicionado de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) desidratado. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 459-465, 2009.
- ROCHA, D. R. C. Macarrão adicionado de ora-pro-nóbis desidratado. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 459-465, 2008.
- RODRIGUES, S.; MARINELLI, P. S.; OTOBONI, A. M. M. B.; TANAKA, A. Y.; OLIVEIRA, A. S. Caracterização química e nutricional da farinha de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.). **Revista Científica Eletrônica de Ciência Aplicadas da FAEF**, 2015.
- ROMANO, B. C.; MELLO, M. H. G.; MELO, F. R. G.; BRONZI, E. S.; AREVABINI, C. A. M. Desenvolvimento de bala de ora-pro-nóbis: uma alternativa para o consumo de nutrientes. **Linguagem Acadêmica: Dossiê nutrição, revista científica do Claretiano**, v. 7, n. 5, p. 57-66, 2017.
- SANTANA, C. S.; KWIATKOWSKI, A.; QUEIROS, A. M.; DA SILVA SOUZA, A. M.; DE MINAS, R. S. Desenvolvimento de suplemento alimentar utilizando ora-pro-nóbis. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 1-10, 2018.

- SARTOR, C. F. P.; DO AMARAL, V.; GUIMARÃES, H. E. T.; DE BARROS, K. N.; FELIPE, D. F.; CORTEZ, L. E. R.; VELTRINI, V. C. Estudo da ação cicatrizante das folhas de *Pereskia aculeata*. **Saúde e Pesquisa**, v. 3, n. 2, 2010.
- SATO, R.; CILLI, L. P. D. L.; OLIVEIRA, B. E. D.; MACIEL, V. B. V.; VENTURINI, A. C.; YOSHIDA, C. M. P. Nutritional improvement of pasta with *Pereskia aculeata* Miller: a non conventional edible vegetable. **Food Science and Technology**, v. 2061, p. 1-7, 2018.
- SCHNEIDER, S.; GAZOLLA, M. Os atores entram em cena. In: SCHNEIDER, S.; GAZOLLA, M. (Orgs.). **Os atores do desenvolvimento rural: perspectivas teóricas e práticas sociais**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2011. p. 11-17.
- SIERAKOWSKI, M. R.; GORIN, P. A. J.; REICHER, F.; CORRES, J. B. C. Some structural features of a heteropolysaccharide from the leaves of the cactus *Pereskia aculeata*. **Phytochemistry**, v. 26, n. 6, p. 1709-1713, 1987.
- SILVA JÚNIOR, A. A.; NUNES, D. G.; BERTOLDI, F. C.; PALHANO, M. N.; KOMIEKIEWICZ, N. L. K. Pão de ora-pro-nóbis: um novo conceito de alimentação funcional. **Agropecuária Catarinense**, v. 23, n. 1, p. 35-37, 2010.
- SILVA, M. C.; PINTO, N. A. V. D. **Teores de nutrientes nas folhas de taioba, ora-pro-nóbis, serralha e mostarda coletadas no município de Diamantina**. In: FUNDAÇÃO EDUCACIONAL CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UFVJA. Anais... Diamantina: editora UFVJA, 2006. 124 p.
- SOBRINHO, S. S.; COSTA, L. L.; GONÇALVES, C. A. A.; CAMPAGNOL, P. C. B. Emulsified cooked sausages enriched with flour from ora-pro-nobis leaves (*Pereskia aculeata* Miller). **International Food Research Journal**, v. 22, n. 1, p. 318-323, 2015.
- SOUZA, M. R. D. M. **Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) como alternativa promissora para produção de proteína: densidade de plantio e adubação nitrogenada**. 2023. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/18746/1/texto completo.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- SOUZA, M. C.; SARTOR, C. F. P.; FELIPE, D. F. Comparação da ação antioxidante de uma formulação contendo extrato de *Pereskia aculeata* com cosméticos anti-idade presentes no mercado. **Saúde e Pesquisa**, v. 6, n. 3, 2013.
- TAKEITI, C. Y.; ANTONIO, G. C.; MOTTA, E. M. P.; COLARES-QUEIROZ, F. P.; PARK, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 1, n. 60, p. 148-160, 2009.
- UDULUTSCH, R. G. **Composição florística e chaves de identificação para as lianas da Estação Ecológica de Caetetus, Estado de São Paulo, Brasil**. Rio de Janeiro: Rodriguésia, v. 61, n. 4, p. 715-730, 2010.

- VARGAS, A. G. DE; DA ROCHA, R. D. C.; TEIXEIRA, S. D. Influência da sazonalidade na composição centesimal da *Pereskia aculeata* Miller. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 12, n. 1, p. 1-7, 2017.
- VARGAS, A. G. et al. Teor de umidade e cinética de secagem das folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller) coletadas sazonalmente. **Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR**, p. 1-10, 2016.
- VIEIRA, Camilla Ribeiro et al. A beverage containing ora-pro-nobis flour improves intestinal health, weight, and body composition: A double-blind randomized prospective study. **Nutrition**, v. 78, p. 110869, 2020.

# CAPÍTULO IX

## PIMENTAS E SUA DIVERSIDADE MORFOLÓGICA CHILI PEPPERS AND THEIR MORPHOLOGICAL DIVERSITY

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-9

Gian Karlos Bisolo<sup>1</sup>  
Ivã Carlos Schuster Júnior<sup>1</sup>  
Isane Vera Karsburg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando do curso de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

<sup>2</sup> Professora do curso de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

### RESUMO

O gênero *Capsicum* (Solanaceae), nativo das Américas, apresenta ampla diversidade, com cerca de 43 espécies descritas, das quais 23 ocorrem no Brasil, sendo 15 endêmicas. Entre as espécies domesticadas de maior relevância estão *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* e *C. pubescens*. As pimentas têm usos diversos, sendo empregadas como condimentos, corantes alimentares, insumos cosméticos e medicinais, além de plantas ornamentais. O objetivo desse estudo foi evidenciar a riqueza da diversidade morfológica de pimentas presentes na região norte de Mato Grosso. A diversidade de formas, cores, tamanhos e sabores das pimentas observada neste estudo — com 19 tipos distintos identificados — revelaram não só a riqueza do gênero *Capsicum* na região norte de Mato Grosso, mas também o quanto essas variedades estão enraizadas no cotidiano, nas tradições e no modo de vida das comunidades locais. As variedades como biquinho, bode, cumari e malaguétinha apresentam ampla variação de formato, cor, tamanho, aroma e pungência, resultante de processos de seleção natural e manejo humano. Essa variabilidade amplia as possibilidades culinárias e reforça a importância de sua preservação como patrimônio genético e cultural. A cadeia produtiva brasileira de pimentas, embora ainda pouco explorada em comparação a outras hortaliças, tem potencial estratégico para agricultura familiar e para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado. O cultivo e a comercialização das pimentas contribuem para a segurança alimentar, valorizam saberes tradicionais e promovem oportunidades econômicas sustentáveis.

**Palavras-chave:** Solanaceae. Recursos Genéticos. Agricultura familiar. Conhecimentos tradicionais. Cultura.

### ABSTRACT

The genus *Capsicum* (Solanaceae), native to the Americas, has a wide diversity, with around 43 described species, 23 of which occur in Brazil, 15 of which are endemic. Among the most important domesticated species are *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* and *C. pubescens*. Chili peppers have diverse uses, being used as condiments, food colorings, cosmetic and medicinal products, as well as ornamental plants. The objective of this study was to highlight the richness of the morphological diversity of peppers present in the northern region of Mato Grosso. The diversity of shapes, colors, sizes and flavors of the peppers observed in this study - with 19 distinct types identified - reveal not only the richness of the *Capsicum* genus in the northern region of Mato Grosso, but also how deeply these varieties are rooted in the daily life, traditions and way of life of the local communities. Varieties such as biquinho, bode, cumari and malaguétinha vary widely in shape, color, size, aroma and pungency, as a result of natural selection and human management. The variability expands the culinary possibilities and reinforces the importance of preserving them as a genetic and cultural heritage. The Brazilian chili production chain, although still little explored in comparison to other vegetables, has strategic potential for family farming and for the development of high value-added products. The cultivation and marketing of chili peppers contributes to food security, values traditional knowledge and promotes sustainable economic opportunities.

**Keywords:** Solanaceae. Genetic resources. Family farming. Traditional knowledge. Culture.

# 1. PIMENTAS: UMA ABORDAGEM SOCIOECONÔMICA E CULTURAL

## 1.1. ORIGEM E DIVERSIDADE

O gênero *Capsicum* (Solanaceae), nativo do continente americano, apresenta registros arqueológicos de consumo humano que remontam a mais de 7.000 anos no México (CARVALHO et al., 2006). Atualmente compreende um complexo taxonômico de significativa diversidade, com aproximadamente 43 espécies descritas (BARBOZA et al., 2019). No Brasil, estão registradas 23 espécies com nome aceito, das quais 15 são endêmicas, incluindo 5 variedades - sendo 1 endêmica (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2025). As diversas espécies e variedades de pimentas podem ser identificadas por características morfológicas, observáveis nos frutos e, sobretudo, nas flores (CARVALHO et al., 2003; COSTA et al., 2015). Entre as espécies domesticadas de maior relevância socioeconômica, destaca-se *C. annuum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L., *C. baccatum* L. e *C. pubescens* Ruiz & Pav. (ALMEIDA et al., 2023). O Brasil é um dos principais centros de diversidade para o gênero, abrigando representantes em todos os níveis taxonômicos citados (CARVALHO et al., 2003).

## 1.2. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E HISTÓRICO-CULTURAIS DA PIMENTA

As pimentas representam um segmento relevante dentro do setor de hortaliças, com importância significativa tanto para a agricultura quanto para a indústria alimentícia (MOREIRA et al., 2006; ABUD et al., 2018). No contexto brasileiro, alguns estudos etnohistóricos revelam que os povos tradicionais já utilizavam técnicas sofisticadas de manipulação, incluindo o emprego de pimenta moída misturada a cinzas como método eficaz de conservação de sementes (CARVALHO et al., 2006). Estudos biométricos e filogenéticos revelam que a região amazônica brasileira se constitui um centro secundário de diversificação, especialmente para *C. chinense*, que apresenta elevada variabilidade fenotípica em características morfológicas do fruto, coloração e grau de pungência (BARBOSA et al., 2002; MOREIRA et al., 2018).

Além do uso culinário como condimento, as pimentas são empregadas na produção de corantes alimentares, como a páprica, e em formulações farmacêuticas e cosméticas devido aos seus compostos bioativos (ALMEIDA et al., 2023), além dos usos industriais e até defensivos. Na medicina tradicional, são muito utilizadas no tratamento de infecções

respiratórias e doenças de pele (BARBOSA et al., 2002). As pimentas ornamentais, por sua vez, são cultivadas em vasos e usadas nos paisagismos, combinando valor estético e funcionalidade (NEITZKE et al., 2016).

Amplamente comercializada nos mercados brasileiros, seu nicho é dinâmico e segmentado, atendendo desde a demanda por espécies de valor ornamental, tanto quanto as de valor alimentar, incluindo produtos derivados como molhos e pós (BARBOSA et al., 2002; LIMA et al., 2017). O cultivo de pimentas representa um segmento estratégico da agricultura brasileira de alto valor agregado, com expressiva participação nos mercados alimentício, farmacêutico e cosmético (FERRAZ et al., 2016). A cadeia produtiva das pimentas no Brasil apresenta particular relevância socioeconômica por envolver desde pequenos agricultores familiares - responsáveis pela manutenção da diversidade genética e de cultivares tradicionais - até grandes indústrias de processamento (BAENAS et al., 2019; BARBOSA et al., 2002). Apesar de sua grande diversidade das pimentas, seu mercado ainda é pouco explorado, comparado ao das hortaliças, relacionado muitas das vezes pelo baixo consumo e redução da quantidade comercializada (CARVALHO et al., 2006).

## **2. DIVERSIDADE DE USOS**

Nas feiras municipais brasileiras, as pimentas estão entre os produtos mais comercializados, sendo amplamente utilizadas pela população como condimento, na forma de molhos artesanais ou em pó (ANTÔNIO et al., 2018). Esse consumo, no entanto, vai além dos centros urbanos, mantendo profunda conexão com as tradições agrícolas de povos originários.

### **2.1. ÁREA DE ESTUDO**

Este estudo etnobotânico, foi realizado no norte de Mato Grosso, abrangendo tanto a feira livre de Alta Floresta (Figura 01) quanto comunidades indígenas Kayabi do Baixo Teles Pires, com o objetivo de evidenciar a riqueza da diversidade morfológica de pimentas presentes na região.

Figura 01 – Feira municipal de Alta Floresta – Mato Grosso.



Fonte: Notícia exata (adaptado pelo autor), 2025.

## 2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa de campo envolveu o registro fotográfico e a identificação dos nomes populares das variedades coletadas, seguido de um levantamento bibliográfico sobre seus usos tradicionais com o intuito de verificar a diversidade das pimentas comercializadas e consumidas na região de Alta Floresta – MT.

## 3. VARIEDADE DE PIMENTAS

### 3.1. 'PIMENTA DOCE' (*CAPSICUM ANNUUM* L. VAR. *ANNUUM*).

A 'Pimenta Doce' (Figuras 02 e 03) é também conhecida como verde ou americana, apresentando frutos alongados, de coloração verde-intensa e brilhante (CARVALHO et al., 2003). Apesar de não possuir pungência nem aroma, é amplamente utilizada na culinária brasileira como substituta do pimentão verde tradicional. A sua aceitação entre os consumidores se deve principalmente à sua forma característica e à versatilidade no preparo de diversos pratos (CARVALHO et al., 2003; RIBEIRO; REIFSCHNEIDER, 2008).

Figura 02 – Diversidade de ‘Pimenta Doce’ (*C. annuum* L. var. *annuum*) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 03 – Diversidade de ‘Pimenta Doce’ (*C. annuum* L. var. *annuum*) nas comunidades indígenas Kayabi do Baixo Teles Pires.



Fonte: autoria própria, 2025.

### 3.2. PIMENTAS ORNAMENTAL (*C. ANNUUM* VAR. *GLABRIUSCULUM* (DUNAL) HEISER & PICKERSGILL.).

As pimentas ornamentais (Figura 04) são cultivadas principalmente pelas características estéticas de suas plantas, que incluem porte compacto, folhagem vistosa (em alguns casos variegada) e, sobretudo, pela impressionante diversidade de formas, tamanhos e cores dos frutos e flores, que mudam ao longo da maturação, criando um efeito visual marcante (CARVALHO et al., 2003, 2006; CARVALHO; BIANCHETTI, 2008; MOREIRA et al., 2006).

Além do uso decorativo, algumas dessas pimentas também são aproveitadas em conservas ou como condimento, embora esse não seja seu principal destino (CARVALHO et al., 2003, 2006; CARVALHO; BIANCHETTI, 2008). O seu cultivo tem se tornado uma alternativa

interessante para pequenos produtores e viveiristas que atuam nos mercados de jardinagem e paisagismo.

Figura 04 – Diversidade de pimentas ornamentais (*C. annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill.) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

### **3.3. 'PIMENTA DEDO DE MOÇA' (*CAPSICUM BACCATUM* L. VAR. *PENDULUM* (WILLD.) ESHBAUGH).**

A 'Pimenta Dedo de Moça' (Figura 05) é uma das mais consumidas no Brasil, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, como nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Goiás (CARVALHO et al., 2003, 2006; CARVALHO; BIANCHETTI, 2008; MOREIRA et al., 2006). Com pungência suave, é amplamente utilizada na culinária, principalmente na preparação de molhos caseiros e industriais (CARVALHO et al., 2003, 2006).

Quando utilizada em molhos, é frequentemente associada a variedades de coloração mais intensa; já na forma desidratada, em flocos com sementes, é conhecida como pimenta calabresa, sendo amplamente empregada em pizzas, embutidos e temperos prontos (HENZ; RIBEIRO, 2008; MOREIRA et al., 2006).

Figura 05 – Diversidade de ‘Pimenta Dedo de Moça’ (*C. baccatum* L. var. *pendulum* (Willd.) Eshbaugh) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

### 3.4. ‘PIMENTA BIQUINHO’ (*CAPSICUM CHINENSE* JACQUIN).

Uma das características mais marcantes da ‘Pimenta Biquinho’ (Figura 06) é a ausência de pungência – ou seja, não é picante, embora possua um aroma leve e frutado característico das pimentas (CARVALHO et al., 2006). Por isso, é amplamente utilizada em conservas, podendo ser consumida *in natura* na forma de aperitivos, e até inclusive por pessoas que não toleram ardência (CARVALHO et al., 2006).

Figura 06 – Diversidade de ‘Pimenta Biquinho’ (*C. chinense* Jacquin) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

### 3.5. ‘PIMENTA BODE’ (*CAPSICUM CHINENSE* JACQUIN).

A pimenta do tipo ‘Bode’ (Figura 07) é uma variedade de pimenta muito utilizada na culinária da região Centro-Oeste, essencial na culinária goiana, temperando carnes, arroz e feijão, sendo versátil e aromático, é um ingrediente marcante da região (CARVALHO; BIANCHETTI, 2008; CARVALHO et al., 2003, 2006; MOREIRA et al., 2006). Os frutos verdes são

vendidos frescos, enquanto os maduros (vermelhos/amarelos) prepara as conservas e molhos. (MOREIRA et al., 2006).

Figura 07 – Diversidade de ‘Pimenta Bode’ (*C. chinense* Jacquin) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

### 3.6. PIMENTA DE CHEIRO (*CAPSICUM CHINENSE* JACQUIN).

A ‘Pimenta de Cheiro’ (Figura 08) é uma variedade tradicional e muito valorizada na culinária brasileira, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, onde seu cultivo é mais expressivo (CARVALHO et al., 2003, 2006). Seus frutos são pequenos, e apresentam ampla variação de formas e cores, indo do amarelo-leitoso ao vermelho e marrom-escuro (CARVALHO et al., 2006).

É conhecida pelo aroma forte e inconfundível, uma de suas principais características sensoriais. A pungência costuma ser ausente ou suave, embora algumas variedades possam apresentar ardência mais acentuada (MOREIRA et al., 2006; RIBEIRO; REIFSCHNEIDER, 2008). É amplamente utilizada como tempero em pratos como arroz, saladas, peixes e frutos do mar, conferindo sabor e aroma marcantes à culinária regional (HENZ; RIBEIRO, 2008; MOREIRA et al., 2006).

Figura 08 – Diversidade de ‘Pimenta de Cheiro’ (*Capsicum chinense* Jacquin) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

### 3.7. ‘PIMENTA CUMARI’ (*CAPSICUM CHINENSE* JACQUIN).

A ‘Pimenta Cumari’ (Figuras 09 e 10) é reconhecida por seus frutos pequenos, alongados ou arredondados, geralmente com coloração vermelha intensa quando maduros (MOREIRA et al, 2006). Seu principal atributo é a alta pungência, ou seja, seu sabor extremamente picante, que a torna uma das preferidas na preparação de pratos típicos da culinária amazônica e nordestina, como moquecas, peixes, caldeiradas e molhos frescos (CARVALHO et al, 2003, 2006; CARVALHO; BIANCHETTI, 2008).

Figura 09 – Diversidade de ‘Pimenta Cumari’ (*C. chinense* Jacquin) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 10 – Diversidade de ‘Pimenta Cumari’ (*C. chinense* Jacquin) nas comunidades indígenas Kayabi do Baixo Teles Pires.



Fonte: autoria própria, 2025.

### 3.8. ‘PIMENTA MALAGUETA’ (*CAPSICUM FRUTESCENS* L.).

A ‘Pimenta Malagueta’ (Figura 11) é uma das mais tradicionais e conhecidas pimentas do Brasil, amplamente utilizada na culinária, tendo sua origem na América tropical, e sua popularização ocorreu por meio das culturas indígenas e afro-brasileiras (CARVALHO et al, 2003, 2006; CARVALHO; BIANCHETTI, 2008; MOREIRA et al, 2006). Apresentam alta pungência, característica que a torna especialmente popular em molhos ardidos, conservas, pratos com peixes e frutos do mar e outras receitas que demandam sabores intensos (CARVALHO et al, 2006; MOREIRA et al, 2006).

Figura 11 – Diversidade de ‘Pimenta Malagueta’ (*C. frutescens* L.) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

### 3.9. ‘PIMENTA MALAGUETINHA’ (*CAPSICUM FRUTESCENS* L.).

As pimentas do tipo ‘Malagueta’ (Figuras 12 e 13) são variedades da ‘Malagueta’, diferenciando-se principalmente pelo formato, mas mantendo semelhanças no grau de

pungência, coloração e outras características morfológicas (CARVALHO; BIANCHETTI, 2008; CARVALHO et al, 2003, 2006). Seus frutos são pequenos o que dificulta o cultivo e contribui para um valor mais elevado no mercado (MOREIRA et al, 2006). São utilizadas tanto para o consumo *in natura* quanto na produção de molhos e conservas.

Figura 03 – Diversidade de ‘Pimenta Malaguêtinha’ (*C. frutescens* L.) da feira municipal de Alta Floresta - MT.



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 04 – Diversidade de ‘Pimenta Malaguêtinha’ (*C. frutescens* L.) nas comunidades indígenas Kayabi do Baixo Teles Pires.



Fonte: autoria própria, 2025.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A diversidade morfológica de pimentas observadas no estudo revelou 19 morfologias distintas, evidenciando não apenas a riqueza morfológica do gênero *Capsicum* na região pesquisada, mas também a forte ligação entre essas variedades e os contextos culturais e agroecológicos locais. As espécies como a biquinho, a bode, a cumari, a malaguêtinha, entre outras, apresentam ampla variação em formato, cor, tamanho, aroma e pungência, refletindo as seleções naturais e humanas ao longo do tempo.

Essa diversidade morfológica revela a ampliação das possibilidades de uso culinário — desde as pimentas suaves e aromáticas utilizadas em pratos tradicionais, como arroz, peixes e saladas, e até as mais picantes, empregadas na produção de molhos e condimentos. Nesse sentido a presença de 19 diferentes morfologias reforçam a importância de preservar e valorizar esse patrimônio genético e cultural. Essa variabilidade contribui para a segurança alimentar, fortalecendo as práticas da agricultura familiar e representando um potencial econômico para o desenvolvimento de produtos diferenciados.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pelo suporte institucional e pela oportunidade de crescimento acadêmico e científico ao longo da minha formação. Minha sincera gratidão ao professor Carlos Alberto Reyes Maldonado, cuja inspiração e incentivo constante alimentaram meu interesse pelo pensamento crítico e investigativo. À professora doutora Isane Vera Karsburg, sou profundamente grato pelo apoio pedagógico, científico e humano, essenciais para a realização deste trabalho. Estendo meus agradecimentos ao colega Ivã Carlos Schuster Júnior, pela parceria, pelas trocas construtivas e pelo apoio durante a jornada acadêmica, e à doutoranda Grazielle Cieslinski Gonçalves, cuja generosidade e orientações contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos, profundo reconhecimento e gratidão.

## REFERENCIAS

- ABUD, H. F. et al. Caracterização morfométrica dos frutos de pimentas malagueta e biquinho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.8, n.2, p.29-39, 2018.
- ALMEIDA, B. M. de et al. Morphological diversity among Brazilian *Capsicum* peppers. **Ciência Rural**, v. 53, n. 1, e20210559, 2023. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210559>.
- ANTONIO, A. S.; WIEDEMANN, L. S. M.; JUNIOR, VF Veiga. The genus *Capsicum*: a phytochemical review of bioactive secondary metabolites. **RSC Advances**, v. 8, n. 45, p. 25767-25784, 2018.
- BAENAS, N. et al. Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. **Food Chemistry**, v. 274, p. 872-885, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>.

- BARBOSA, R. I. et al. Pimentas do gênero *Capsicum* cultivadas em Roraima, Amazônia brasileira. I. Espécies domesticadas. **Acta Amazônica**, v. 32, n. 2, p. 177-192, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43922002322192>.
- BARBOZA, G. E. et al. Four new species of *Capsicum* (Solanaceae) from the tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. **PLoS ONE**, v. 14, n. 1, e0209792, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209792>.
- COSTA, L. V. et al. Caracterização de acessos de pimentas do Amazonas. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 290-298, 2015.
- CARVALHO, S. I. C. et al. **Catálogo de Germoplasma de Pimentas e Pimentões (*Capsicum* spp.) da Embrapa Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 2003. 49 p.
- CARVALHO, S. I. C. et al. **Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 2006. 27 p.
- CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B. Botânica e recursos genéticos. *In*: RIBEIRO, C. S. C. et al. **Pimentas *Capsicum***. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 200 p.
- FERRAZ, R. M. et al. Caracterização morfoagronômica preliminar de acessos de pimentas cumari. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 498-506, 2016.
- FLORA E FUNGA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB14622>>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- HENZ G. P.; RIBEIRO, C. S. C. Mercado e comercialização. *In*: RIBEIRO, C. S. C. et al. **Pimentas *Capsicum***. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 200 p.
- LIMA, C. M. G. et al. Pepper dedo-de-moça jelly acceptance with pequi bark pectin. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 6, p. 786-791, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/jcecv3iss6pp0786-0791>.
- MOREIRA, A. F. P. et al. Genetic diversity, population structure and genetic parameters of fruit traits in *Capsicum chinense*. **Scientia Horticulturae**, v. 236, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.012>.
- MOREIRA, G. R. et al. **Espécies e variedades de pimenta**. *In*: Informe Agropecuário, Belo Horizonte. Belo Horizonte: EPAMIG. v. 27, n. 235, p. 16 – 29. 2006. 112 p.
- NEITZKE, R. S. et al. Pimentas ornamentais: aceitação e preferências do público consumidor. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 102-109, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000100015>.
- RIBEIRO, C. S. C.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Genética e melhoramento. *In*: RIBEIRO, C. S. C. et al. **Pimentas *Capsicum***. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 200 p.

# CAPÍTULO X

## CADEIA PRODUTIVA DO BAMBU LAMINADO COLADO

### GLUED LAMINATED BAMBOO PRODUCTION CHAIN

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-10

Flávia Maria Silva Brito<sup>1</sup>

Glauceide Ferreira<sup>2</sup>

Rodolpho Stephan Santos Braga<sup>2</sup>

Nédia Pereira Correia Mendes Correia<sup>2</sup>

Ana Carolina Corrêa Furtini<sup>3</sup>

Juarez Benigno Paes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

<sup>2</sup> Doutorandos do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

<sup>3</sup> Professora Substituta do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET

<sup>4</sup> Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

#### RESUMO

Nas últimas décadas, a ação antrópica tem provocado um intenso desgaste ambiental. Diante disso, torna-se essencial a adoção de matérias-primas sustentáveis e de processos produtivos menos poluentes. Nesse contexto, o bambu surge como uma alternativa viável. A cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) envolve várias etapas, desde o cultivo até a aplicação final em construções ou produtos. Ainda está em desenvolvimento, mas apresenta grande potencial econômico, ambiental e social. O Brasil possui várias espécies nativas e exóticas adaptadas ao clima tropical e subtropical, além de áreas com condições ideais para o cultivo. Um dos fatores mais importantes e que devem ser considerados na cadeia produtiva do BLC é a trabalhabilidade. Por um lado, a leveza do material facilita a sua trabalhabilidade, proporcionando maior agilidade e produtividade ao ser utilizado. A construção da cadeia produtiva do BLC é uma atividade promissora que vai utilizar o bambu que é um material sustentável e gerar renda para os produtores. Os produtos podem abastecer o mercado como móveis, pisos e materiais assistivos. No Brasil, é possível ainda considerar a possibilidade de exportar esses produtos, uma vez que o País possui grandes quantidades de matéria-prima (bambu), além disso as características estruturais e estéticas dos móveis de bambu laminado colado são satisfatórias.

**Palavras-chave:** Matéria-prima sustentável. Maquinários. Taliscas. Adesivos. Móveis.

#### ABSTRACT

In recent decades, human activity has caused intense environmental degradation. In view of this, it is essential to adopt sustainable raw materials and less polluting production processes. In this context, bamboo emerges as a viable alternative. The glued laminated bamboo (GLB) production chain involves several stages, from cultivation to final application in construction or products. It is still under development, but it has great economic, environmental and social potential. Brazil has several native and exotic species adapted to the tropical and subtropical climate, in addition to areas with ideal conditions for cultivation. One of the most important factors that must be considered in the GLB production chain is workability. On the one hand, the lightness of the material facilitates its workability, providing greater agility and productivity when used. The construction of the GLB production chain is a promising activity that will use bamboo, which is a sustainable material, and generate income for producers. The products can supply the market with furniture, flooring and assistive materials. In Brazil, it is still possible to consider the possibility of exporting these products, since the country has large quantities of raw material (bamboo), in addition to which the structural and aesthetic characteristics of glued laminated bamboo furniture are satisfactory.

**Keywords:** Sustainable raw materials. Machinery. Laminae. Adhesives. Furniture.

## 1. INTRODUÇÃO

O desgaste causado pelo homem na natureza, nas últimas décadas tem sido intenso. Por esta razão é necessário adotar matérias-primas sustentáveis e processos menos poluentes de produção. Assim, o bambu torna uma possibilidade para diversas aplicações. É um dos produtos florestais não madeireiros mais importantes do mundo (LEAL *et al.*, 2024). De forma geral, o bambu pode ser conceituado como uma gramínea tubular, composta por uma mistura de lignina e celulose, organizada em feixes de fibras, imersa em células parenquimatosas e vasos (RUSCH *et al.*, 2024). No Brasil há mais de 200 espécies de bambu e aproximadamente 18 milhões de hectares de florestas nativas estão concentradas na Amazônia (GONÇALVES *et al.*, 2020). Novas descobertas de espécies e gêneros estão ainda acontecendo, pela ampla área de ocorrência (RUSCH *et al.*, 2024).

Dentre as vantagens do bambu destacam-se curto período de rotação, alta capacidade de regeneração e boas propriedades para amplas utilizações, semelhantes ou até superiores às da madeira, tornando-o um substituto adequado, além de controlar a degradação de ambientes montanhosos, ecossistemas e recursos naturais (YUMING *et al.*, 2004). A significativa capacidade de absorção de carbono do bambu o torna um elemento crucial no esforço para mitigar as mudanças climáticas e reduzir o efeito estufa, contribuindo assim para a preservação do mundo e a restauração da atmosfera (BAKRI *et al.*, 2021).

Outras vantagens incluem o baixo custo e a sua distribuição em várias zonas geográficas do globo. Cerca de 65% das espécies ocorrem na Ásia, 28% na América e 7% na África, ocupam 33 milhões de hectares e são responsáveis por aproximadamente 3,2% da área florestal africana e 1,0% da área florestal do mundo (LOBOVIKO *et al.*, 2017; DU *et al.*, 2018). A principal vantagem do bambu é ser colhido a partir do terceiro ano, já maduro, com alta resistência mecânica e estrutural, além de ter a extração sustentável e anual, por período superior a até 100 anos (RUSCH *et al.*, 2024). Possui densidade que varia de 400 a 900 kg m<sup>-3</sup> (CHAOWANA; BARBU, 2017).

Apesar das vantagens o bambu é pouco utilizado em função da sua baixa resistência ao cisalhamento, a presença de nós em seus colmos e sua geometria circular que inibem a expansão do uso desse material como material de construção. Por outro lado, possui grande potencial tendo em conta a tecnologia que pode ser aplicada para produção do laminado colado de bambu (LIMA *et al.*, 2023).

O bambu laminado colado (BLC) é um material projetado à base de bambu produzido pela colagem de taliscas ou lâminas de bambu na direção das fibras. Supera os defeitos do material e a variabilidade dimensional do bambu no seu formato natural. Suas propriedades mecânicas são mais estáveis, alcançando padronização e modernização sem comprometer sua natureza ecologicamente correta (LIU *et al.*, 2024). Pode ser utilizado na produção de painéis divisórios, forros, pisos, molduras, esquadrias, móveis e revestimento, cabos de ferramentas, materiais assistivos e componentes de construção civil.

Diante de tantas vantagens, cita-se a necessidade de discorrer e apresentar mais informações sobre a cadeia produtiva de bambu laminado colado. Para o desenvolvimento desta cadeia, Barelli (2009) cita fatores importantes como a disponibilidade de matéria-prima, oferta de insumos, produção do material, manejo, processamento dos colmos para transformação em taliscas, colagem e prensagem.

Para Orthey *et al.* (2015), a cadeia produtiva do bambu industrializado assemelha-se a dos móveis produzidos em madeira. Desta forma a adaptação dos processos e métodos de produção já existentes para o beneficiamento e transformação da madeira podem ser aplicados aos processos de industrialização do bambu. Os equipamentos e ferramentais utilizados são semelhantes. Dentro deste contexto o objetivo dessa revisão de literatura é discorrer sobre a cadeia produtiva do bambu laminado colado.

## 2. CADEIA PRODUTIVA DO BAMBU LAMINADO COLADO

A cadeia produtiva pode ser conceituada como o conjunto de atividades que se articulam de forma gradativa desde os insumos básicos que são necessários até o produto final, englobando distribuição e comercialização, que formam segmentos (elos) de uma corrente. Toda atividade de produção combina aspectos econômicos, sociais e tecnológicos que são importantes para o desempenho de uma cadeia produtiva. Serão discorridos abaixo os principais itens que devem constar para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva de BLC para fabricação de móveis.

### 2.1. DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA-PRIMA

O Brasil contém a maior biodiversidade de bambu da América do Sul. Há aproximadamente 137 espécies e 17 gêneros em quase todo o território nacional. Os estados do Acre, Amazonas, Bahia, Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Santa Catarina concentram a maior parte dos bambuzais (JUDZIEWICZ *et al.*, 1999). Segundo o Instituto Nacional de

Pesquisas Especiais – INPE (2023), há a necessidade de estudos mais criteriosos sobre as espécies nativas que estão concentradas na mata atlântica e região amazônica, em especial no estado do Acre, que está localizado na Amazônia ocidental, e contem cerca de 88,1% de sua cobertura florestal preservada. O Projeto Radam, confirma por meio de imagens de satélites a existência de aproximadamente 7 milhões de hectares de bambus no estado (BERALDO; PEREIRA, 2016).

Para abastecer a cadeia produtiva de laminado colado é necessário implantar a cultura do bambu. Para Anunciato *et al.* (2020) e Rodrigues (2023) a instalação de uma cultura necessita de uma aplicação que varia de US\$ 442 a US\$ 530 por hectare. Além desse valor, recomenda-se destinar R\$ 1 mil por hectare para a manutenção e limpeza do bambuzal, nos dois primeiros anos. O retorno financeiro é garantido, uma vez que é possível atingir cerca de 20 vezes o que foi gasto, para implantar a cultura, especificamente aos quatro anos de idade, quando é realizado o primeiro corte que gera lucros ao produtor que vai recuperar o capital investido no início.

Ainda de acordo com Anunciato *et al.* (2020) e Rodrigues (2023) e para efeitos de comparação destaca-se que preço médio da biomassa em São Paulo, um Estado referência nas vendas de bambu, oscila em torno de R\$ 150 por tonelada. Por outro lado, o bambu direcionado à produção de fibra pode ser comercializado por um valor médio de R\$ 300 por tonelada. Esses números contribuem para a atratividade econômica da cultura do bambu, consolidando-a como uma opção viável e lucrativa para os produtores.

Ha algumas espécies promissoras para a instalação de uma cadeia produtiva, com possível contribuição para a economia, porém ainda são pouco estudadas no Brasil como o *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus latiflorus*, *Dendrocalamus strictus*, *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis*, *Guadua otatea* e *Bambusa oldhami* (RODRIGUES, 2023). Dentre estas destacam-se as espécies do gênero *Dendrocalamus*, que foram alvo de algumas pesquisas já desenvolvidas em Instituições de Pesquisa para produção do BLC, como Rosa *et al.* (2016), Brito *et al.* (2018), Sulastiningsih *et al.* (2021) e Lima *et al.* (2023).

## 2.2. 2.2. OFERTA DE INSUMOS

### 2.2.1. Sementes e mudas de bambu

Uma limitação importante para o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu refere-se ao seu deficiente processo de multiplicação, pois a maioria das espécies tem florescimento raro e muitas não produzem sementes viáveis (XAXA *et al.*, 2024), restringindo a propagação sexuada.

Em função disso, é mais comum efetuar a propagação por meio do plantio de mudas que pode ser realizado por alguns métodos como o transplante total, parcial, pedaços de rizoma, pedaços de colmo e ramos laterais (BERALDO; PEREIRA, 2016). Nogueira *et al.* (2017) destacam que esses métodos têm boa eficácia quando se deseja uma pequena quantidade de mudas, mas possuem restrições, especialmente nos casos em que se deseja um número elevado de plantas e micropropagação seria uma alternativa de maior viabilidade.

Por meio da micropropagação vegetativa em laboratório, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2023), algumas espécies podem gerar em apenas seis meses cerca de 200 a 500 mudas, provenientes de apenas um propágulo. Este método pode viabilizar a produção em larga escala do bambu e impulsionar a cadeia produtiva dessa matéria-prima renovável e sustentável e do bambu laminado colado.

### 2.2.2. Máquinas específicas utilizadas para beneficiamento do bambu

A trabalhabilidade do bambu é um fator importante e que não pode ser desconsiderado na cadeia produtiva do BLC. Por um lado, a leveza do material facilita a sua trabalhabilidade, proporcionando maior agilidade e produtividade ao ser utilizado. Por outro lado, no Brasil, em Instituições de Pesquisa, utilizam-se máquinas adaptadas de marcenaria, como serra circular e plaina desengrossadeira, para produção de taliscas.

O laminado de bambu é fabricado em maiores quantidades nos Países Asiáticos para fabricação de paredes e pisos, enquanto no Brasil as empresas, que dispõem deste tipo de laminado geralmente importam da China. Entretanto, já existem iniciativas de fabricação de máquinas próprias no País.

A Bamboo Market fornece equipamentos especializados para trabalhar com bambu, porém, em função da baixa demanda do mercado, estas máquinas ainda são pouco difundidas, em relação a países como a China, Indonésia, Japão e Colômbia, que são centros

de referência no mundo para produção de produtos derivados de bambu. Algumas máquinas como a topejadeira para bambu (Figura 1), produzida pela Bambu Market, consiste em serra circular móvel para bancada com carrinho transportador.

Figura 1 - Topejadeira de bambu: A (com proteção da serra circular); B (com serra circular evidente).



Fonte: Bambu Market.

A máquina especializada para fazer ripas de bambu possui várias lâminas no centro que tem a função de abrir o colmo e transformá-lo em ripas, que serão posteriormente utilizadas, após remoção das camadas externa e interna, na produção das laminas (taliscas) utilizadas na produção do BLC (Figura 2). Outra máquina é a laminadora, que transforma as ripas em lâminas e ajusta a largura conferindo um padrão (Figura 3).

Figura 2 - Máquina para fazer ripas de Bambu.



Fonte: Bambu Market.

Figura 3 - Máquina laminadora.



Fonte: Bambu Market

### 2.3. PRODUÇÃO DO MATERIAL

Como não existem dados publicados no Brasil, em relação ao processo de produção e processamento industrial e comercial do BLC, é difícil avaliar essa etapa da cadeia de produção, por esse motivo será dado ênfase a produção de bambu no Brasil de forma geral e em Centros de Pesquisa destinados a experimentos e em Universidades.

No Brasil são produzidos em média 25 toneladas por hectare de bambu e os responsáveis são o Acre e Maranhão, direcionadas à produção de biomassa (energia) e o setor industrial; enquanto a produção dos estados de Paraíba e Pernambuco são para celulose e papel. A produção dos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia e Paraná é destinada para painéis, broto e fitocosméticos (ANUNCIATO *et al.*, 2020).

Algumas Unidades de Pesquisa também são importantes, como a de Tatuí, criada em 1993, que gera e transfere conhecimento científico e tecnológico para o agronegócio visando o desenvolvimento socioeconômico e o equilíbrio do meio ambiente. Possui uma área de aproximadamente 970 mil metros quadrados, que pertence ao estado de São Paulo. Na Unidade de Pesquisa de Tatuí encontra-se a maior coleção de bambus da América Latina (135 espécies). A Estação mantém a maior coleção de bambu do Brasil, para o fomento aos micros, pequenos e médios produtores rurais (GUIMARÃES, 2011).

Outra unidade experimental está localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, localizada na cidade de Dois Vizinhos (Paraná). A espécie do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) é cultivada na região e diversas pesquisas relacionadas ao seu crescimento, qualidade do solo, nutrição das plantas, qualidade dos colmos (caule) para usos diversos, como na construção civil e construção rural, por exemplo, já foram iniciadas. Outros estudos relacionados a qualidade do broto e o seu uso na alimentação (*in natura* ou em farinha), na indústria de cosméticos, também estão sendo desenvolvidos. Os pesquisadores querem auxiliar a comunidade como uma alternativa de renda, além de funcionar como um laboratório de pesquisas na área para estudantes e professores.

## 2.4. MANEJO DOS BAMBUZAIS

O manejo dos bambuzais é importante para o desenvolvimento social e econômico. O plantio em pequenas áreas favorece o desenvolvimento e a participação de produtores rurais da agricultura familiar como fornecedores de matéria-prima às empresas, gerando de trabalho e renda (BARELLI, 2009).

Para Pereira e Beraldo (2016), o manejo consiste na seleção de corte, eliminando aqueles que possuem defeitos como tortuosidades e coletando apenas aqueles considerados maduros, com idade superior a 3 anos. Os colmos jovens devem ser deixados na touceira para amadurecerem mantendo o vigor dos demais. Numa touceira há colmos de várias idades à época do corte e a idade de cada um deles deve ser definida, previamente pela marcação anual na casca à medida em que nascem.

Mesmo com identificação de algumas espécies de bambu no Brasil, ainda são escassas as informações disponíveis sobre plantio, condução e manejo de áreas de bambu para fins comerciais, que favorecesse o surgimento de diferentes vertentes de conhecimento sobre o crescimento destas espécies em áreas experimentais (RODRIGUES, 2023).

## 2.5. PROCESSAMENTO DOS COLMOS PARA TRANSFORMAÇÃO EM TALISCAS

Após abertura dos colmos e produção das ripas (Figura 4) que ainda estão com a casca que é compacta, lisa e coberta com uma camada de cera, que possui baixa afinidade a água e a adesivos. O comportamento da parte central e das camadas interna e externa das taliscas difere em relação a diferença nas propriedades. A região central é a matéria-prima utilizada na utilização industrial do bambu.

Figura 4 - Face interna e externa de uma ripa de bambu. A linha preta demonstra a retirada das faces interna e externa, obtendo-se a talisca.



Fonte: Rosa (2013).

A diferença na estrutura dessas três partes resulta em variabilidade da densidade, teor de umidade, retratibilidade, resistência mecânica e colagem. Essas diferenças podem prejudicar o processamento e a utilização das taliscas, como por exemplo, as faces internas e externas possuem baixa aderência com adesivos, enquanto a parte central evidencia alta capacidade de ligação (QISHENG *et al.*, 2002). Em função disso, para colagem de lâminas, as camadas internas e externas são removidas, de acordo com a metodologia empregada por Rosa *et al.* (2016) e Brito *et al.* (2018).

As taliscas podem ser produzidas pelas máquinas descritas anteriormente no item 2.2 ou por máquinas utilizadas em marcenarias comuns como serra circular e plaina desgrossadeira. A serra circular é utilizada para abrir os colmos e ajustar a largura das taliscas (Figura 5). Em seguida, as taliscas são passadas na plaina desgrossadeira para retirada do diafragma (material de união interna dos colmos e que correspondem a região dos nós) e da casca.

Figura 5 - serra circular.



Fonte: Autores (2025).

Com as taliscas finalizadas realiza-se o esquadrejamento, que consiste na passagem das lâminas em plaina de quatro faces, para alinhar e padronizar (ORTHEY *et al.*, 2015). As taliscas podem ser tratadas com água, produtos químicos, temperatura, fumaça para aumentar a vida útil, uma vez que o bambu é severamente atacado pelo *Dinoderus minutus* (PEREIRA; BERALDO, 2016), que tem a capacidade de reduzir o bambu a fibras ou pó, quando não o destrói totalmente.

Na fase final ocorre a secagem que pode ser realizada em estufas com circulação forçada de ar para padronização do teor de umidade. Após a secagem as peças passam diretamente para o beneficiamento final do bambu. Remoção de irregularidades na superfície e ajustes no tamanho são realizadas com a plaina de quatro faces e após a calibragem final as taliscas devem ser acondicionadas em ambiente climatizado para manter a uniformidade das medidas (ORTHEY *et al.*, 2015).

## 2.6. COLAGEM E PRENSAGEM DAS LÂMINAS

Nesta etapa são utilizados os adesivos que tem por objetivo unir as taliscas para produção do BLC. Podem ser utilizados os adesivos a base de melamina, uréia – formaldeído, fenol formaldeído, resorcinol formaldeído, epóxi e poliuretano. Antes da aplicação é importante definir a gramatura que será utilizada.

A prensagem pode ser em prensas hidráulicas manuais ou automatizadas, assim como a colagem pode ser a temperatura ambiente ou a quente, segundo especifica o fabricante da

resina que será utilizada. Conforme mencionado anteriormente, indica-se que sejam coladas a parte interna das taliscas que são mais permeáveis, além disso a parte externa é mais resistente, e em função, da exposição deverá ser preservada., no caso de um BLC utilizado para piso, por exemplo.

Segundo Orthey *et al.* (2015) após a colagem as peças serão conformadas de forma mecânica e montadas nos gabaritos de prensagem para a formação dos componentes que formarão os móveis. Os componentes curvos são prensados após a colagem das lâminas e conformados em moldes aquecidos, conforme a forma final desejada ao componente que formará o móvel. Ao fim do processo realiza-se a distribuição, o que vai garantir que a disponibilidade dos produtos na região de atuação de empresa, podendo ser local, regional, estadual, nacional e internacional. Pode ocorrer por meio de estrutura própria ou empresas terceirizadas. Podem ser realizadas revendas que tem a capacidade de representar a empresa e assim expandir os negócios. A comercialização pode ser realizada por lojas, redes de lojas e franquias até chegar ao consumidor final.

### 3. UTILIZAÇÃO DO BAMBU LAMINADO COLADO

O BLC pode ser utilizado para produção de pisos (Figura 6) até construção de pórticos leves pesados, treliças de grandes vãos e pontes projetadas para suportar cargas pesadas de caminhões, como é o caso de uma ponte que foi projetada e construída na China.

Figura 6 - Piso de bambu laminado produzido por empresa brasileira.



Fonte: <https://www.pranchadosilhabela.com.br/piso-pronto-bambu.php>.

O BLC curvo é uma modalidade que pode ser utilizada para fabricação de móveis como cadeiras, sofás, estantes, gabinetes e mesas, comprovando assim ser uma alternativa viável para substituir a madeira. Apesar de que os móveis de BLC são relativamente novos, o

mercado está crescendo rapidamente; atualmente, a China é o único país são produzidos, ainda em escala mediana, mas existe muito potencial, particularmente em se tratando de exportações para a América do Norte e Europa (YUAN; YAN, 2001).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cadeia produtiva do BLC é importante do ponto de vista econômico, social e ambiental no Brasil. É uma atividade promissora que vai utilizar o bambu, que é um material sustentável e gerar renda para os produtores. Os produtos podem abastecer o mercado como móveis, pisos e materiais assistivos. No Brasil, é possível ainda considerar a possibilidade de exportar esses produtos, uma vez que o País possui grandes quantidades de matéria-prima (bambu), além disso as características estruturais e estéticas dos móveis de bambu laminado colado são satisfatórias. O desenvolvimento de móveis de bambu está em conformidade com o pensamento da sociedade. O foco na proteção do meio ambiente e também influencia no padrão de avaliação do design.

Ressalta-se ainda a importância das pesquisas que tem por objetivo encontrar novas soluções, e podem ser desenvolvidas em Instituições e outros órgãos que estão empenhados nessa questão, como a Associação Brasileira do Bambu – BambuBR (<https://www.bambubr.com/>). Essas parcerias auxiliam no crescimento e fortalecimento da cadeia produtiva, compartilhando informações, criando e instigando projetos e pesquisas de tecnologia e inovação.

#### REFERÊNCIAS

- ANUNCIATO, V. M.; DIAS, R. C.; BIANCHI, L.; PERISSATO, S. M.; GOMES, D. M. Bambu: versatilidade para quem sabe lucrar. 2020. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/bambu-versatilidade-para-quem-sabe-lucrar/>>. Acesso em: 05 out. 2024.
- BARELLI, B. G. P. Design para a sustentabilidade: modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) e seus produtos. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2009.
- BAKRI, M. K. B.; RAHMAN, M. R.; ADAMU, M. Introduction of various types of bamboo species and its nanocomposites preparation. In: RAHMAN, M. R. (Org.). Bamboo polymer nanocomposites: preparation for sustainable applications. Cham: Springer, p. 1-19. 2021.

- YUAN, Z. B.; YAN, J. J. The bamboo furniture making unit. Nanjing: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), Transfer of Technology Model (TOTEM), 2001, 22 p.
- BRITO, F. M. S.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B.; BROCCO, V. F. Physico-mechanical characterization of heat-treated glued laminated bamboo. *Construction and Building Materials*, v. 190, p. 719-727, 2018.
- CHAOWANA, P.; BARBU, M. C. Bamboo: potential material for biocomposites. In: JAWAID, M.; TAHIR, P. M.; SABA, N. (Org.). *Lignocellulosic fibre and biomass-based composite materials*. Cham: Elsevier, 2017, p. 259–289.
- DU, H.; LI, Y.; ZHU, D. Mapping global bamboo forest distribution using multisource remote sensing data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 11, p.1458–1471, 2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Nova técnica permite reprodução em larga escala de bambu. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/agricultura/agronegocio/bambu-nova-tecnica-permite-reproducao-em-larga-escala/#:~:text=A%20Embrapa%20Recursos%20Gen%C3%A9ticos%20e,partir%20de%20um%20%C3%BAnico%20prop%C3%A1gulo>>. Acesso em: 06 out. 2024.
- GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. A.; GONÇALVES, C. D. Ensaios de resistência mecânica em peças laminadas de bambu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., Fortaleza, 2000. Anais... Fortaleza: CONBEA, 2000.
- GUIMARÃES, F. Coleção de bambus é a maior da América Latina. 2011. Disponível em <<https://www2.jornalcruzeiro.com.br/materia/320981/colecao-de-bambus-e-a-maior-da-america-latina>>. Acesso em: 06 out. 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Prodes digital: monitoramento da Floresta Amazônica brasileira por satélite. 2023. Disponível em: [https://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](https://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates). Acesso em: 06 out. 2024.
- JUDZIEWICZ, E. J.; CLARK, L.G.; LONDOÑO, X. American bamboos. Washington: Smithsonian Institution Press, 1999. 392 p.
- LEAL, G. S. A.; LEAL, F. A.; RIBEIRO, S. C.; SOUZA, A. M.; PEREIRA, J. E. S. Population structure and spatial distribution of *Guadua weberbaueri* Pilg. in native and anthropized forests in the western Brazilian Amazon. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 54, e79369, 2024.
- LIMA, D. M.; LIMA JUNIOR, H. C.; MEDEIROS, I. S. Physical and mechanical properties of glued laminated bamboo. *Bioresources*, v. 18, n. 2, p. 3522-3539, 2023.
- LIU, Y.; TANG, L.; SHENG, B.; HUANG, D. Evaluation of the mechanical properties and chemical components of naturally aged glued laminated bamboo. *Industrial Crops and Products*, v. 219, e119135, 2024.

- LOBOVIKO, M.; PAUDEL, S.; PIZZA, M.; REN, H.; WU, J. World bamboo resources: a thematic study prepared in the framework of the global forest resources assessment 2005. Rome: INBAR, FAO 2017. 80p.
- LUGT, P, V. D. Design interventions for stimulating bamboo commercialization: Dutch design meets bamboo as a replicable model. 2008. 421 f. Thesis (PhD in Design for Sustainability) - Delft University of Technology, Rotterdam, 2008.
- NOGUEIRA, J. S.; COSTA, F. H.S.; VALE, P. A.A.; LUIS, Z. G.; PEREIRA, J. E. S. Micropropagação de bambu em larga escala: princípios, estratégias e desafios. In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. (Org). Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia. Rio de Janeiro: ICH, 2017, p. 103-129.
- ORTHEY, A.; BARAUNA, D.; RAZERA, D. L. Processos do bambu laminado colado e sua aplicação no design de móveis. In: GAMPI Plural, Joinville, 5., Joinville, 2015. Anais... Joinville: Univille, 2015.
- PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. Bambu de corpo e alma. 2. ed. Bauru: Canal 6 Editora, 2016, 352 p.
- QISHENG, Z.; SHENXUE, J.; YONGYU, T. Industrial utilization on bamboo. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 2002, 212 p. (Technical Report, 26)
- RODRIGUES, W. J. S. Caracterização do crescimento de plantas de bambu (*Dendrocalamus asper* Barker) no Brasil central. 2023. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2023.
- ROSA, R.A. Caracterização do bambu laminado colado como alternativa tecnológica industrial. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.
- ROSA, R. A.; PAES, J. B.; SEGUNDINHO, P. G. A.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, A. K. F. Influências da espécie, tratamento preservativo e adesivos nas propriedades físicas do bambu laminado colado. Ciência Florestal, v. 26, n. 3, p. 913-924, 2016.
- RUSCH, F.; CUNHA, F. I. U.; ALVES, F. D. F.; SILVA, C.; PAULA, E. A. O.; MOURA, J.; MELO, R. R. Tratamentos preservativos do bambu *Dendrocalamus asper* em campo de apodrecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS. Mossoró, 1., Mossoró, 2024. Anais... Mossoró: CBNM, 2024.
- SULASTININGSIH, I, M.; TRISATYA, D, R.; INDRAWAN, D, A.; MALIK, J.; PARI, R. Physical and mechanical properties of glued laminated bamboo lumber. Journal of Tropical Forest Science, v. 33, n. 3, p. 290–297, 2021.
- XAXA, S.; ILORKAR, V. M.; RAUT, P. D.; DESHMUKH, A. P. Nursery techniques: An overview on vegetative propagation studies of Indian bamboos. International Journal of Advanced Biochemistry Research, v. 8, n. 5, p. 61-67, 2024.

YUMING, Y.; KANGLIN, W.; SHENGJI, P.; JIMING, H. Bamboo diversity and traditional uses in Yunnan, China. Mountain Research and Development, v. 24, n. 2, p. 157-165, 2004.

# CAPÍTULO XI

## TRATAMENTOS PRESERVATIVOS APLICADOS AO BAMBU: UMA REVISÃO CONTEXTUAL

### PRESERVATIVE TREATMENTS APPLIED TO BAMBOO: A CONTEXTUAL REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-11

Glauceide Ferreira<sup>1</sup>  
Flávia Maria Silva Brito<sup>2</sup>  
Rodolpho Stephan Santos Braga<sup>3</sup>  
Nédia Pereira Correia Mendes Correia<sup>4</sup>  
Merlindo Jacinto Manjate<sup>5</sup>  
Juarez Benigno Paes<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>2</sup> Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

<sup>3</sup> Doutorando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>4</sup> Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>5</sup> Doutorando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>6</sup> Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

#### RESUMO

O bambu é uma espécie estudada pela boa resistência mecânica e baixo impacto ambiental, além disso, é utilizada em construções, artesanato, movelaria, alimentação, produção de celulose e geração de energia. Embora vantagens sejam atribuídas ao bambu, existem vários problemas relacionados ao seu uso que devem ser resolvidos e mitigados. Um deles é a baixa resistência natural ao ataque de organismos xilófagos, que constitui uma das principais limitações ao seu uso. Sem o emprego adequado de um tratamento preservativo, os materiais derivados do bambu não resistem a uma longa vida útil. Os procedimentos utilizados nos tratamentos preservativos são bem conhecidos, para os quais diversos métodos e soluções preservativas podem ser utilizados, dependendo da finalidade, condição do material e acessibilidade. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão de literatura sobre os tratamentos preservativos utilizados em espécies de bambu. O presente trabalho recorreu à pesquisa bibliográfica cuja estrutura foi por meio de análise de artigos acadêmicos, além de relatórios nacionais e internacionais e livros utilizados no levantamento de dados. Foi observada a importância do aprofundamento dos estudos

envolvendo métodos preservativos utilizados em espécies de bambu. E desta forma, incentivar o uso deste material no setor da construção civil, movelaria, artesanato, e assim, diminuir a exploração de materiais convencionais, como madeira, ferro, concreto e plástico, promovendo práticas mais sustentáveis e contribuindo para a proteção do meio ambiente.

**Palavras-chave:** Material renovável. Durabilidade. Substituição de seiva. Qualidade do tratamento.

#### ABSTRACT

O bambu é uma espécie de boa resistência mecânica e baixo impacto ambiental, além disso, é utilizado em construções, artesanato, movimentação, alimentação, produção de celulose e geração de energia. Embora vantagens sejam atribuídas ao bambu, existem vários problemas relacionados ao seu uso que devem ser resolvidos e mitigados. Um deles é a baixa resistência natural ao ataque de organismos xilófagos, que constitui uma das principais especificações ao seu uso. Sem o emprego adequado de um tratamento preservativo, os materiais derivados do bambu não resistem a uma longa vida útil. Os procedimentos utilizados nos tratamentos preservativos são bem



conhecidos, pois os quais diversos métodos e soluções preservativas podem ser usados, dependendo da especificidade, condição do material e acessibilidade. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre os tratamentos preservativos usados em espécies de bambu. O presente trabalho recorreu a pesquisa bibliográfica cuja estrutura foi por meio de análise de artigos acadêmicos, além de relatórios nacionais e internacionais e livros utilizados no levantamento de dados. Foi observada a importância do

aprofundamento dos estudos envolvendo métodos preservativos usados em espécies de bambu. E desta forma, incentiva o uso deste material no setor da construção civil, movelaria, artesanato, e assim, diminui a exploração de materiais convencionais, como madeira, ferro, concreto e plástico, promovendo práticas mais sustentáveis e contribuindo para a proteção do meio ambiente.

**Keywords:** Renewable material. Durability. Sap displacement. Treatment quality.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por materiais de construção sustentáveis e de baixo custo tem ganhado destaque nas últimas décadas, especialmente em face da crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental (ALVES, 2019). Neste seguimento, o bambu surge como excelente alternativa, pois apresenta características como elevada taxa de crescimento, caráter renovável e biodegradável, baixa densidade associada a elevada resistência mecânica e sua grande versatilidade de aplicações são de grande interesse (MARQUES *et al.*, 2020).

Historicamente, o bambu tem sido utilizado em países tropicais e subtropicais, especialmente na Ásia e América Latina, para a construção de casas, templos e até mesmo para a fabricação de móveis e pisos (MATSUOKA, 2011; LEITE *et al.*, 2023). Países como China, Índia, Tailândia e Japão utilizam o bambu como material estrutural em construções modernas, em razão das suas propriedades originais (SKURATOV *et al.*, 2021). Colômbia, Equador e Costa Rica utilizam bambus da espécie *Guadua angustifolia* para o desenvolvimento de importantes projetos estruturais, e na Colômbia tais projetos foram destinados à construção de casas de habitação popular (ARENAS; ARENAS, 2022).

O território brasileiro abriga uma grande diversidade de espécies de bambu, o que, segundo Gauss (2020), se deve ao clima favorável ao seu cultivo. O Brasil possui um alto potencial para o uso do bambu como material de engenharia, especialmente na construção civil, pela abundância de espécies com boas propriedades mecânicas, como *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys edulis*, *Bambusa vulgaris*, *Bambusa tuldoides* e *Guadua angustifolia* (GAUSS, 2020), porém, enfrenta desafios de durabilidade, especialmente contra agentes biológicos e condições adversas.

O bambu, assim como outros materiais biológicos, apresenta sensibilidade à ação da umidade, e a adsorção de água, promove a instabilidade dimensional, principalmente ao longo de sua direção longitudinal, limitando sua aplicação (LIU *et al.*, 2021). Além disso, o bambu está sujeito ao ataque de organismos xilófagos, como fungos, cupins e insetos, sendo o besouro *Dinoderus minutus*, chamado de broca do bambu, seu principal agente destrutivo (GAUSS; KADIVAR; SAVASTANO, 2019). Isto ocorre pela grande quantidade de amido, proteína, carboidratos e gordura que a planta reserva em seu interior (PIAO *et al.*, 2022). Portanto, para evitar que estas características causem diminuição na qualidade do produto e perda de suas propriedades mecânicas, é necessário que as hastes do bambu passem por um processo de tratamento preservativo antes de sua aplicação.

O bambu apresenta dificuldade para absorver as soluções químicas, tornando seu tratamento mais complexo em comparação à madeira. Acredita-se que o motivo desta baixa absorção esteja associado à estrutura anatômica do bambu, composto principalmente por fibras longas e densas, com menos espaços vazios entre as células em comparação com a madeira, o bambu tem menor porosidade, dificultando a absorção das soluções químicas (GAUSS *et al.*, 2021).

Assim, vários estudos que envolvem tratamentos preservativos de bambu vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos, tendo sido identificada a necessidade de fazer uma sintetização, agrupamento e análise das informações (CAMPOS, 2024). O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre os tratamentos preservativos utilizados para espécies de bambu.

## 2. MÉTODOS PRESERVATIVOS EMPREGADOS EM BAMBU

Diversos tipos de tratamento podem ser aplicados aos colmos de bambu para aumentar sua durabilidade, os quais se dividem em métodos tradicionais e químicos. Os tratamentos tradicionais, que não envolvem a adição de produtos químicos, incluem práticas como maturação, imersão em água, defumação e processos térmicos. No entanto, os tratamentos preservativos com o uso de substâncias químicas proporcionam maior durabilidade e, por isso, são mais recomendados para aplicações na construção civil (CAMPOS, 2024).

## 2.1. MÉTODOS TRADICIONAIS

Diversos métodos tradicionais de proteção do bambu vêm sendo utilizados em áreas rurais há séculos, sem o uso de produtos químicos. Essas práticas são de fácil aplicação, podendo ser executadas pelos próprios usuário, sem necessidade de treinamento especializado, equipamentos específicos ou altos custos.

Elas envolvem o uso de conhecimentos empíricos e boas práticas, como a escolha da época adequada para a colheita, a seleção de colmos maduros e o respeito a regras tradicionais transmitidas por gerações (LIESE; TANG, 2015a). O sucesso do tratamento preservativo no bambu depende da tratabilidade do colmo, do teor de umidade, do tipo de produto químico utilizado e do processo de tratamento aplicado (LIESE, 2004).

### 2.1.1. Colheita de bambu na estação e cura natural ou avinagrado

Durante a estação de crescimento dos bambus, a quantidade de amido presente nos colmos pode variar, reduzindo seus carboidratos no parênquima para fornecer material de construção para o broto em expansão (MAGEL *et al.*, 2006). Em vista disso, os colmos são preferencialmente colhidos no final da estação chuvosa e no início da estação seca, quando os colmos estão totalmente desenvolvidos.

A cura natural é uma técnica simples, acessível e tradicional, que segundo Beraldo (2019), os colmos são cortados e deixados para secar na própria touceira, por cerca de 20 dias. Assim, as hastes de bambu são cortadas e deixados por algum tempo com galhos e folhas. Como a respiração do tecido ainda continua, os conteúdos de amido no colmo vão diminuindo. O nome avinagrado é usado por causa do forte cheiro azedo que é liberado durante a cura (HIDALDO LÓPEZ, 2003). Este processo reduz a atratividade do bambu por brocas, mas não causa efeito no ataque de cupins e fungos (LIESE; TANG, 2015a).

### 2.1.2. Armazenamento ou Imersão em água

É uma técnica relevante em regiões tropicais e subtropicais, onde o bambu é uma matéria-prima comum para construção civil, móveis e artesanato. A imersão é frequentemente aplicada em muitos países asiáticos, onde os colmos de bambu frescos são embebidos em água corrente ou parada por 1–3 meses. Esse processo lixivia parcialmente os carboidratos, resultando em uma resistência aprimorada do colmo. Assim, durante o armazenamento em água, o teor de amido é reduzido em parte pela ação bacteriana. O método pode melhorar a resistência contra brocas, mas não contra cupins e fungos (ASHAARI;

MAMAT, 2000; NGUYEN, 2002). A submersão em água pode levar a manchas e mau odor dos colmos pela ação bacteriana. A imersão em água ainda é usada para tratar bambu para fazer artesanato e móveis em muitas locais que utilizam métodos tradicionais (Figura 1).

Figura 1 – Armazenamento de colmos em água na Tailândia.



Fonte: Liese e Kumar (2003).

### 2.1.3. Tratamento com fogo

No tratamento realizado com fogo, o amido é alterado quimicamente e a seiva é eliminada pela exsudação, se tornando menos viável ao ataque de fungos e insetos. Ainda, nesse método, o bambu adquire uma cor parda e brilhante, resultante do derretimento da cera natural presente na parte externa do colmo (ALVES, 2019). Para este procedimento pode ser utilizado o maçarico, assim como representa a Figura 2. Esse procedimento também é utilizado para desentortar ou vergar o bambu.

Figura 2 – Tratamento com maçarico (A), colmos tratados e temperados (B).



Fonte: Fabiani *et al.* (2023).

## 2.2. MÉTODOS QUÍMICOS TRADICIONAIS

Os produtos químicos utilizados no tratamento do bambu são os mesmos empregados para a madeira e devem ser suficientemente ativos para impedir a vida e o desenvolvimento de microrganismos e não devem afetar os tecidos de bambu alterando suas propriedades físico-mecânicas. Esses produtos devem ser utilizados em concentrações adequadas e

apresentar toxidez restrita aos organismos xilófagos, não afetando o homem e os animais (DYTZ, 2014).

Os produtos químicos mais utilizados em bambu são os hidrossolúveis, que podem se difundir em colmos verdes, penetrando de forma completa no tecido (LIESE, 2004). Os preservativos hidrossolúveis são formados pela associação de vários produtos como sulfato de cobre, dicromato de potássio ou sódio, sulfato de zinco, trióxido de arsênio, ácido bórico, tetraborato de sódio (bórax) e octaborato de sódio (DOT) podem fazer parte da composição de suas fórmulas. As soluções aquosas desses sais, quando adentram na madeira, reagem com a lignina, produzindo compostos insolúveis, que dificilmente são lixiviados. (GALVÃO *et al.*, 2004).

Os métodos de tratamento químico tradicionais do bambu podem ser classificados em métodos sem pressão e com pressão. Uma descrição abrangente das diversas possibilidades de tratamento encontra-se em Kumar *et al.* (1994) e Liese; Tang (2015b).

### 2.2.1. Substituição de seiva

Neste método, colmos recém-colhidos (até 3m de comprimento) são imersos verticalmente (extremidade inferior), pelo menos 50 cm da base em solução aquosa (Figura 3). A solução sobe com o deslocamento da seiva. Para uma boa penetração, os colmos devem ser mantidos com a base submersa na solução e mantidas suas porções aéreas separadas, a fim de proporcionar boa aeração entre os colmos, por pelo menos 7 dias e, posteriormente invertidos, para que a parte superior fique imersa por mais 7 dias. Embora útil em algumas situações, esse método não é usado na produção em escala comercial (KUMAR *et al.*, 1994).

Para evitar a evaporação da água e o desbalanceamento da solução preservativa, recomenda-se adicionar 200 - 500 ml de óleo lubrificante na superfície da solução. O processo de imunização deve ser efetuado ao ar livre e em área coberta, sendo diariamente registrada a quantidade de solução absorvida pelos colmos e efetuada a sua reposição, a fim de manter constante o nível inicial de solução nos tambores (TIBURTINO, 2012).

Figura 3 – Método de tratamento por substituição de seiva de bambu verde.



Fonte: Tiburtino (2012).

### 2.2.2. Difusão por imersão

Na Ásia e América do Sul, este é um dos métodos mais utilizados para tratamento de bambu pela sua simplicidade e produtividade. Colmos de bambu colhidas com alto teor de umidade (acima de 50%) são submersos em solução aquosa por 10-20 dias para garantir a difusão dos ingredientes ativos dos produtos utilizados. O tempo de imersão, no entanto, depende das concentrações das soluções, espécies e retenções requeridas. Neste procedimento, é necessário romper os diafragmas para facilitar a submersão e penetração da solução preservativa. As principais etapas para o tratamento de imersão são apresentadas na Figura 4.

Nesse processo, o aumento da temperatura da solução pode causar incremento na taxa de difusão. No entanto, produtos à base de cromo precipitam ao serem aquecidos e devem ser usados em temperatura ambiente (KUMAR *et al.*, 1994; LIESE e TANG, 2015b).

Figura 4 – Perfuração dos nós (A), limpeza dos colmos de bambu (B), tanque de tratamento com colmos submersos (C).



Fonte: Marçal (2018).

### 2.2.3. Difusão com imersão vertical

Este método é conhecido como método vietnamita (Figura 5), porque foi amplamente desenvolvido e difundido no Vietnã, onde o bambu é largamente utilizado na construção civil, em utensílios domésticos e em infraestrutura rural. Ele funciona da mesma forma que o processo de difusão/imersão. Para esse procedimento, os diafragmas dos nós dos colmos dos bambus frescos são rompidos ao longo do comprimento (deixando o último nó sem quebrar). Em seguida, são colocadas em posição vertical, e a parte interna do bambu é preenchida com uma solução aquosa (cerca de 10% de concentração), funcionando como um reservatório para o processo de difusão. Produtos a base de boro são comumente usados para este método (LIESE, 2004; LIESE e TANG, 2015b).

Figura 5 – Método por Difusão com imersão vertical.



Fonte: <https://bamboou.com/treating-bamboo-in-your-backyard/>

### 2.2.4. Processo de Boucherie modificado

Assim como no método de substituição de seiva, necessita que o bambu seja recém-cortado. No método, a solução química é pressurizada em um recipiente e distribuída por mangueiras e conexões hidráulicas. A solução é empurrada através da extremidade das hastes de bambu (Figura 6). A pressão pode chegar a  $2 \text{ kg cm}^{-2}$  (0,196 MPa) e duração de 30 a 60 minutos, dependendo do comprimento do colmo, para que a solução comece a gotejar na extremidade oposta.

O uso de bambu recém-cortado é um aspecto crítico deste método, pois, nas primeiras horas após o corte, a permeabilidade dos vasos de bambu começa a diminuir e afeta a penetração da solução. Embora seja um método eficiente, é trabalhoso, e a variação dos

diâmetros de bambu pode ser um problema para as conexões necessárias (KUMAR *et al.*, 1994; LIESE, 2004).

Figura 6 – Método de Boucherie modificado (A), solução preservativa escorrendo da extremidade do colmo (B).



Fonte: Liese e Tang (2015b).

### 2.2.5. Tratamento quente e frio

Para este método não são necessários equipamentos sofisticados, porém os colmos dever estar secos (teor de umidade abaixo de 30%). Seu princípio é fundamentado no aquecimento do bambu em que o ar nas células se expandirá. Durante o período de resfriamento, ocorre um leve efeito de vácuo, promovendo a penetração da solução de tratamento nas células. Os colmos são geralmente tratados com dois furos em paredes opostas de cada entrenó ou os diafragmas são rompidos para permitir o acesso à superfície interna.

O bambu submerso é aquecido para elevar a temperatura para cerca de 90 °C e mantido por 2–3 h. Depois é transferido para o banho frio e mantido por 4 – 6 horas, ou deixado para resfriar dentro do primeiro recipiente. Este tratamento é mais adequado para bambus que são usados em construções do tipo adobe em áreas rurais (LIESE; TANG, 2015).

### 2.2.6. Tratamento a vácuo-pressão

Para realização deste método, são necessários que colmos de bambu, partes semicilíndricas, ripas ou laminas sejam secas ao ar (teor de umidade abaixo de 30%). O procedimento aplicado em bambu é semelhante ao utilizado em madeiras. No processo de célula cheia, o material a ser tratado é alocado em um vaso de pressão e submetido a três estágios de processamento (Figura 7). Na primeira etapa, o vácuo é aplicado para remover o ar das cavidades de bambu, deixando espaço disponível para os produtos químicos. A solução

é bombeada para o vaso de pressão e uma pressão positiva é aplicada. Em seguida, a solução é bombeada de volta para um tanque de armazenamento e uma fase final de vácuo é aplicada para remover o excesso de solução dentro da estrutura de bambu.

Quando os colmos do bambu passam pelo tratamento, é necessário que sejam perfurados os nós (diafragma) para evitar o colapso (causado pelo vácuo e pressão), e aumentar a absorção da solução. Neste processo, podem ser utilizados produtos oleosos e à base de água. Para bambu, um vácuo inicial de 500-600 mmHg por 30 min, pressão de 10-12 kg cm<sup>-2</sup> (0,98 – 1,78 MPa) por 60-90 min e vácuo final de 500-600 mmHg por 10-15 min são recomendados, para o uso de arseniato de cobre cromatado - CCA e borato de cobre cromatado - CCB (LEPAGE, 2008; LIESE; TANG, 2015b; LEPAGE; SALIS; GUEDES, 2017).

Figura 7 – Vaso de pressão utilizado para tratamento a vácuo/pressão de bambu.



Fonte: Associação Brasileira do Bambu (2025).

## 2.3. MÉTODOS QUÍMICOS NÃO TRADICIONAIS

### 2.3.1. Furfurilação em massa

Este método é utilizado para a modificação da madeira e bambu por meio de impregnação com álcool furfurílico (FA) e catalisadores ácidos. E após a impregnação do FA, o material passa pelo processo de polimerização *in situ* com elevadas temperaturas, originando um compósito madeira/polímero, com a designação “madeira furfurilada”, que tem propriedades mecânicas aperfeiçoadas em relação à madeira não tratada, com melhor resistência à degradação biológica e ótima estabilidade dimensional (LI *et al.* 2020).

O bambu modificado por este procedimento apresenta elevada resistência a mofo e também mostrou forte resistência a fungos apodrecedores e a térmitas (LI et al., 2020). De acordo com Li et al. (2020), as propriedades mecânicas do bambu furfurilado foram relativamente melhoradas em baixas concentrações de FA e reduzidas para altas concentrações do produto. Já Liu et al. (2021) constataram em seu estudo que a estabilidade dimensional e a durabilidade foram melhoradas após o tratamento e que houve ligeira diminuição na propriedade de compressão.

### 2.3.2. Acetilação e polimerização

De acordo com Huang et al. (2019), este é um método convencional de modificação química, em que grupos acetil ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) são introduzidos em um composto químico e ao utilizar este método para o tratamento de colmos de bambu, os grupos acetil reagem com os grupos hidroxila ( $-\text{OH}$ ), ligados à celulose do bambu, propiciando uma melhora na estabilidade dimensional do bambu.

Outro método que apresentou bons resultados para a modificação do bambu é a polimerização *in situ* de monômeros poliméricos, como o metacrilato de metila (MMA), que é insaturado no interior dos poros do bambu para a produção de compósitos poliméricos, diminuindo a absorção de água do material, protegendo-o do ataque por microrganismos (HUANG *et al.*, 2019).

O estudo realizado por Huang *et al.* (2019), que utilizou a combinação das modificações químicas por meio da acetilação do acetato de vinila (VA) e da polimerização *in situ* do metacrilato de metila (MMA) em colmos de bambu. Os resultados demonstraram que as amostras de bambu preparadas pela combinação destes dois tratamentos apresentaram melhor desempenho quanto à estabilidade dimensional e durabilidade do que as amostras sem tratamento ou tratadas somente com um dos reagentes.

## 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da revisão desenvolvida neste trabalho, foram apresentados diferentes métodos de tratamento e produtos que podem aumentar a durabilidade dos colmos de bambu, protegendo-os contra os agentes biodeterioradores bem como sua influência desses produtos em algumas propriedades do material.

O estudo, pode servir para auxiliar na escolha do melhor tratamento, dependendo das necessidades específicas e dos recursos disponíveis para a execução de cada projeto, uma vez

que, cada tratamento apresenta suas vantagens e limitações. Deste modo, sugere-se que estudos posteriores façam testes para investigar a influência do tratamento químico sobre espécie específica de bambu e condições de uso.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, A. A. **Uso do bambu na construção civil: aplicações estruturais e arquitetônicas para um desenvolvimento sustentável**. 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.
- ARENAS, N. C. S.; ARENAS, M.V.S. Casas de bambu, como uma solução de políticas públicas habitacional para região Amazônica. **Conjecturas**, v.22, n.1, p. 1771-1787, 2022.
- ASHAARI, Z.; MAMAT, N. Traditional treatment of Malaysian bamboos: resistance towards white rot fungus and durability in service. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 3, n. 9, p. 453–1458, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BAMBU. **Tratamento de Bambu**. 2025. Disponível em: <<https://bambubr.com/tratamento-de-bambu>>. Acesso em: 05 mai. 2025.
- BERALDO, A. L. **Preservação do Bambu**. Apostila sobre o tratamento do bambu: teoria e prática. Apuama. 2019. Disponível em: <<http://apuama.org/wp-content/uploads/2019/03/Apostila-Tratamento-do-bambu.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2024.
- CAMPOS, A. F. G. F. **Tratamentos químicos de colmos de bambu para utilização na construção civil: uma revisão sistemática**. 2024. 48f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) - Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.
- DYTZ, P. **Eficiência de produtos químicos na proteção de *Bambusa vulgaris* schrad e *Eucalyptus urograndis* contra fungos apodrecedores**. 2014. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 2014.
- FABIANI, M.; GRECO, S.; MENTRASTI, L.; MOLARI, L.; VALDRÈ, G. Thermal treatment of bamboo with flame: influence on the mechanical characteristics. **Advances in Bamboo Science**, v. 2, p. 2773-1391, 2023.
- GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. **Processos práticos para preservar a madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 49p.
- GAUSS, C.; KADIVAR, M.; SAVASTANO JUNIOR, H. Effect of disodium octaborate tetrahydrate on the mechanical properties of *Dendrocalamus asper* bamboo treated by vacuum/pressure method. **Journal of Wood Science**, v.65, n. 27, p. 1 -27, 2019.

- GAUSS, C.; KADIVAR, M.; HARRIES, K. A.; SAVASTANO JUNIOR, H. Chemical modification of *Dendrocalamus asper* bamboo with citric acid and boron compounds: Effects on the physical-chemical, mechanical and thermal properties. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123871, 2021.
- GAUSS, C.; HARRIES, K. A.; KADIVAR, M.; AKINBADE, Y.; SAVASTANO JUNIOR, H. Quality assessment and mechanical characterization of preservative treated Moso bamboo (*P.edulis*). **European Journal of Wood and Wood products**, v. 78. p. 257-270, 2020.
- HIDALDO-LÓPEZ, O. *Bamboo: The gift of the gods*. Bogota: D’Vinni Ltda, 2003.
- HUANG, S.; JIANG, Q.; YU, B.; NIE, Y.; MA, Z.; MA, L. Combined Chemical Modification of Bamboo Material Prepared Using Vinyl Acetate and Methyl Methacrylate: Dimensional Stability, Chemical Structure, and Dynamic Mechanical Properties. **Polymers**, v. 11, n. 10, p. 16,51, 2019.
- KUMAR, S.; SHUKLA, K. S.; DEV, T.; DOBRIYAL, P.B. **Bamboo preservation techniques: a review**. China: INBAR, 1994. 59p.
- LEITE, F. R. C; CHAVES, F. I. P; BAMBIRRA, J. V de O; MORAIS, S. C. A de; VIEGAS, V.P. **A utilização do Bambu na construção civil como fonte de material sustentável**. 2023. 25f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Privado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.
- LEPAGE, E.; DE SALIS, A. G.; GUEDES, E. C. R. **Technology and protection of wood**. 1st. ed. São Paulo: Montana Química, 2017.
- LEPAGE, E. S. **Tratamento Preservativo do Bambu**. Informativo técnico – Divisão Osmose, Montana Química S.A. São Paulo, 2008.
- LI, W.; LIU, M.; ZHAI, H.; WANG, H.; YU, Y. Preparing highly durable bamboo materials via bulk furfurylation. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120726, 2020.
- LIU, M.; LI, W.; GUO, F.; WANG, H.; ZHANG, X.; YU, Y. Dimensionally stable and highly durable bamboo material prepared through a simple surface furfurylation. **Construction and Building Materials**, v. 276, p. 122156, 2021.
- LIESE, W.; KUMAR, S. *Bamboo Preservation compendium*. **INBAR publication**, p. 32–55, 2003.
- LIESE, W. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. In: **Simposio Internacional de la Guadua**. Pereira, 2004.
- LIESE, W.; TANG, T. K. H. Properties of the Bamboo Culm. In: LIESE, W.; KÖHL, M. (Ed.). **Bamboo: The plant and its uses**. Cham: Springer, 2015a. p. 227–256.
- LIESE, W.; TANG, T. K. H. Preservation and Drying of Bamboo. In: LIESE, W.; KÖHL, M. (Ed.). **Bamboo: The plant and its uses**. Cham: Springer, 2015b. p. 257–297.

- MAGEL, E.; KRUSE, S.; LU"THE, G.; LIESE, W. Soluble carbohydrates and acid invertases involved in the rapid growth of developing culms in *Sasa palmata* (Bean) Camus. **Bamb Sci Cult**, v. 19, p. 23–29, 2006.
- MARQUES, S. C.; LUIZ, G. A.; DA SILVA, T. G. Emprego do bambu na construção civil. *Epitaya E-books*, v. 1, n. 12, p. 72-81, 2020.
- MARÇAL, V. H. S. **Análise comparativa de normas técnicas internacionais para o emprego do bambu - colmo em estruturas prediais**. 2018. 178f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.
- MATSUOKA, J. H. **Avaliação da eficiência do ácido pirolenhoso no tratamento preservativo de taliscas de bambu gigante contra a deterioração por fungos**. 2011. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2011.
- NGUYEN, T. B. N. Investigation on preservation of bamboo used for construction. Ph.D. Dissertation, Forest Science Institute of Vietnam, Vietnam, 2002, p 44–51.
- TIBURTINO, R. F. **Qualidade e eficiência do tratamento preservativo de duas espécies de bambu**. 2012. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, 2012.
- SKURATOV, S.; VOLKOVSKAYA, G. D.; YANUKYAN E.; BEILIN, M. **Bamboo as a Unique Ecological Building Material of the XXI Century: Bamboo Description, Bamboo Physical and Mechanical Properties Studies**. *Materials Science Forum*, Suíça, v. 1043, p. 149-154, 2021.

# CAPÍTULO XII

## OBSTÁCULOS TECNOLÓGICOS DO USO DO BAMBU PARA FINS INDUSTRIAIS NO BRASIL: UMA REVISÃO CONTEXTUAL

### TECHNOLOGICAL OBSTACLES TO THE USE OF BAMBOO FOR INDUSTRIAL PURPOSES IN BRAZIL: A CONTEXTUAL REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-12

Glauceide Ferreira<sup>1</sup>  
Flávia Maria Silva Brito<sup>2</sup>  
Rodolpho Stephan Santos Braga<sup>3</sup>  
Nédia Pereira Correia Mendes Correia<sup>4</sup>  
Thiago Ferreira dos Santos<sup>5</sup>  
Juarez Benigno Paes<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>2</sup> Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

<sup>3</sup> Doutorando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>4</sup> Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>5</sup> Discente do Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

<sup>6</sup> Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

#### RESUMO

O bambu é um material renovável, utilizado em construções, artesanato, movelaria, alimentação, produção de celulose e geração de energia. Por se tratar de um material abundante, de baixo-custo, crescimento rápido, fácil manejo, alta flexibilidade e adequada resistência mecânica, mostra-se como alternativa ecologicamente correta e economicamente viável em substituição às madeiras comumente utilizadas na construção civil. No entanto, mesmo que incontáveis vantagens sejam atribuídas ao bambu, existem vários problemas relacionados ao seu uso que devem ser resolvidos e mitigados. E a baixa resistência natural do bambu ao ataque de organismos xilófagos constitui uma das principais limitações ao seu pleno uso. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre os principais obstáculos tecnológicos do uso do bambu para fins industriais no Brasil. O trabalho recorreu à pesquisa bibliográfica cuja estrutura foi por meio de análise de artigos acadêmicos, além de relatórios nacionais e internacionais e livros utilizados no levantamento de dados. Conclui-se que, pela baixa durabilidade natural dos bambus, antes de serem utilizados para fins variados, passem por tratamento preservativos a fim de se obter uma maior vida útil.

**Palavras-chave:** Características tecnológicas. Durabilidade. Biodeterioração.

#### ABSTRACT

Bamboo is a renewable material used in construction, crafts, furniture, food, pulp production and energy generation. Because it is an abundant, low-cost, fast-growing, easy-to-use, highly flexible and mechanically resistant material, it is an environmentally friendly and economically viable alternative to wood commonly used in construction. However, even though bamboo has countless advantages, there are several problems related to its use that must be resolved and mitigated. And bamboo's low natural resistance to attack by wood-eating organisms is one of the main limitations to its full use. In view of the above, this study aimed to present a literature review on the main technological obstacles to the use of bamboo for industrial purposes in Brazil. The study used bibliographic research whose structure was through the analysis of academic articles, in addition to national and international reports and books used in the data collection. It is concluded that, due to the low natural durability of bamboo, before being used for various purposes, it undergoes preservative treatment in order to obtain a longer useful life.

**Keywords:** Technological characteristics. Durability. Biodeterioration.



## 1. INTRODUÇÃO

O bambu pertence à família das gramíneas, conhecida como Poaceae ou Gramineae. É formada por cerca de 45 gêneros, 1.300 espécies distribuídas globalmente e é descrita por sua natureza fibrosa. No Brasil, existem aproximadamente 232 espécies de bambu, das quais cerca de 170 são endêmicas (PEDRANGELO *et al.*, 2020).

Historicamente, o bambu tem sido utilizado em países tropicais e subtropicais, especialmente na Ásia e na América Latina, para a construção de casas, templos e para a fabricação de móveis, utensílios e artesanatos (MATSUOKA, 2011; LEITE *et al.*, 2023). Porém, no Brasil, mesmo com sua abundância e diversidade de espécies, o uso do bambu na construção ainda é incipiente, pela falta de conhecimento tecnológico e científico específico para esse material (ALVES, 2019).

Em função da falta de informação sobre o cultivo e tratamento adequado dos colmos, a quantidade de fornecedores do material pronto para uso na construção e movelaria ainda é muito pouco, e a maioria dos produtos de bambu a serem destinados para estes fins são importados de outros países como Índia e China, elevando os custos de produção. Além do que, a escassez técnica relacionada ao processo construtivo com o uso do bambu também leva ao aumento dos custos e à diminuição da durabilidade das construções, limitando a utilização deste vegetal em substituição aos materiais geradores de impactos ambientais (CAMPOS, 2024).

No entanto, um dos principais desafios na utilização do bambu como material de construção é sua baixa durabilidade natural, sendo vulnerável a ataques de organismos xilófagos e à degradação por fatores abióticos (BAMBI *et al.*, 2019; HANDANA *et al.*, 2020), o que constitui uma das desvantagens de sua utilização.

Para o uso na construção civil ainda apresenta alguns desafios como baixa resistência a esforços cortantes; ausência de norma brasileira específicas; contração e rachaduras, pois o bambu contrai muito mais do que qualquer outro tipo de madeira, especialmente quando perde água; dificuldades com canecões, pois, embora existam muitas técnicas de ligações, sua eficiência estrutural é questionável; é um material propenso a pegar fogo muito rápido pelo atrito entre o colmo; e também apresenta grande variação de formas e resistências. Porém, esses empecilhos podem ser resolvidos por meio de seleção e secagem adequadas, e adaptação de técnicas construtivas (LEMOS, 2019).

As camadas externas e internas do bambu são ricas em sílica e compostos minerais, podendo dificultar o ataque de térmitas, pois esses materiais afetam as mandíbulas dos insetos, usadas para escarificar o bambu (TIBURTINO *et al.*, 2015b). Porém, a presença de sílica, apresenta desvantagens, pois, podem desgastar as ferramentas de forma mais rápida, necessitando de reparos constantes (COLLA, 2010). O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre os empecilhos tecnológicos do uso do bambu para fins industriais no Brasil.

## 2. EMPECILHOS PARA UTILIZAÇÃO DO BAMBU

### 2.1. DURABILIDADE NATURAL

O bambu é considerado um dos materiais estruturais de base biológica mais resistentes, porém, está propenso a danos físicos e mecânicos causados por alguns fatores abióticos, se tornando suscetível a ataques por organismos semelhantes aos que atacam a madeira. Além disso, o bambu tem mais possibilidade de ser deteriorado em razão do seu teor de amido (LIESE; KUMAR, 2003; LIESE, 2004a,b).

A vida útil das estruturas das espécies de bambu depende da taxa de degradação biológica. Normalmente, a durabilidade natural do bambu é muito baixa, tendo influência da variabilidade das espécies, condições ambientais e natureza do uso. O bambu quando não passa por tratamentos preservativos, vai apresentar uma vida útil de menos de um ano, quando exposto a condições externas e contato com o solo. Quando não está exposto, pode durar de 4 a 5 anos ou mais, em condições favoráveis. O bambu quando rachado, expõe o tecido parenquimático, ficando mais fácil de ser destruído do que os colmos íntegros. A parte inferior de um colmo tem uma durabilidade menor do que as porções do meio e superior, e a parte interna do colmo é mais facilmente atacada do que a externa (casca) (LIESE; KUMAR, 2003; LIESE, 2004a,b).

Quando os bambus são armazenados na florestais ou em pátios de secagem, nas áreas tropicais úmidas, eles apodrecem e se deterioram. E a gravidade da decomposição e da biodeterioração vai depender da duração do armazenamento, das espécies de bambu e das condições ambientais e de armazenamento. A degradação de materiais por fungos é considerada um problema grave para as fábricas de processamento de bambu durante o armazenamento e transporte para o exterior de colmos e produtos de bambu (TANG, 2013).

## 2.1.1. Fatores Abióticos

### 2.1.1.1. Rachaduras e Fendas

Em colmos jovens, o colapso pode ocorrer, por causa das tensões de secagem, principalmente, quando os colmos são armazenados ao ar livre, causando rachaduras e divisões, e a deterioração por fungos pode se tornar evidente (Figura 1).

Figura 1 – Rachaduras durante o armazenamento com subsequente decomposição fúngica.



Fonte: Liese e Kumar (2003).

Essas rachaduras podem se desenvolver se o colmo for exposto ao sol intenso. Elas podem não ter muita influência na resistência à tração, mas podem levar à deterioração subsequente por fungos e insetos. Como essas rachaduras normalmente são desenvolvidas do lado exposto às intempéries, elas são expostas à chuva, e a água se acumula dentro do colmo, sendo um ambiente propício a proliferação de fungos apodrecedores. As rachaduras não podem ser controladas por nenhum tratamento químico, pois é uma consequência de tensões induzidas pela contração de secagem (LIESE; TANG, 2015).

### 2.1.1.2. Ação do Fogo

Da mesma forma que ocorre com a madeira, construções em bambu apresentam risco de incêndios. O fogo é um perigo para construções de bambu, pois ele queima facilmente e os colmos ociosos explodem pela expansão do calor, da qual o nome "bamboo" pode ter se originado. Como o bambu é utilizado em construções modernas, os códigos e regulamentos de construção correspondentes devem ser considerados. A aprovação para usar os colmos como elementos de construção deve passar por um teste de inflamabilidade. Enquanto a inflamabilidade da madeira pode ser reduzida com retardantes de fogo aplicados por

tratamento de pressão, essa proteção dificilmente se torna possível ao bambu pela sua natureza refratária (LIESE; TANG, 2015).

Produtos químicos retardantes de fogo têm que penetrar no tecido do colmo e são eficazes apenas em uma alta retenção. Uma aplicação de superfície no colmo por tinta parece questionável, pois esses revestimentos decorativos não são fixadores. Além disso, fatores econômicos impedem tratamentos de proteção contra o fogo em colmos de bambu (LIESE; TANG, 2015).

## 2.1.2. Fatores Bióticos

### 2.1.2.1. Fungos decompositores

Nos bambus, os fungos causam descoloração e deterioração (Figura 1). Existem muitos tipos que infestam e atacam as espécies de bambu sob diferentes condições ambientais. Eles usam os componentes químicos das células do colmo, seja do conteúdo celular (fungos emboloradores e manchadores) ou da parede celular (fungos de podridão), como sua fonte de energia. Os fungos podem ocorrer na superfície e nas extremidades de colmos recém cortados, pois eles requerem alta umidade relativa, geralmente acima de 70%, para o seu desenvolvimento. Suas hifas geralmente não penetram no colmo, mas obtêm sua nutrição de açúcares e nutrientes acumulados em sua superfície (LIESE; TANG, 2015).

Como citado por Liese e Tang (2015), esses organismos podem se desenvolver em pilhas de bambu armazenada, onde a parte interna e nutritiva do colmo fica exposta e também em produtos acabados, como móveis, resultando em perdas econômicas (Figura 2). Eles não afetam as propriedades físico-mecânicas do colmo, porém, reduzem sua aparência estética. Diferentes espécies de fungos produzem grandes quantidades de esporos de cores preta, azul, verde e amarela.

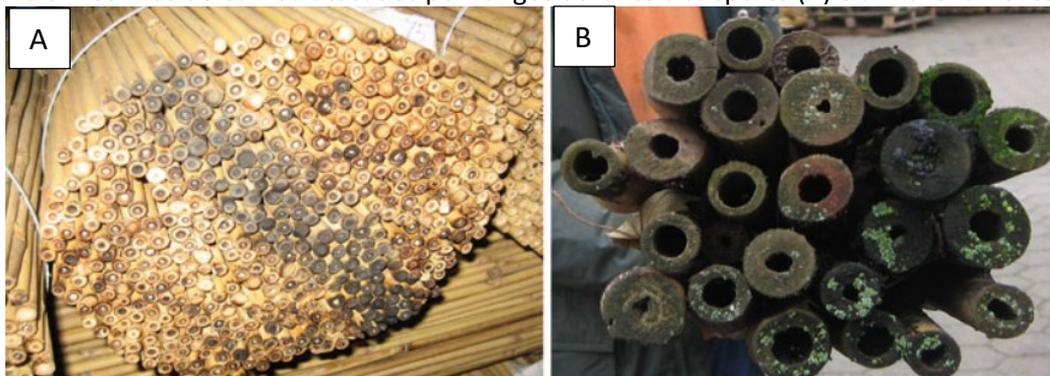
Figura 2 – Colmos frescos atacados por fungos durante o armazenamento (A), superfície de uma mesa infectada por fungos (B).



Fonte: Tang (2013).

Os esporos de algumas espécies podem causar irritações na pele, problemas respiratórios e reações alérgicas em seres humanos. As micotoxinas produzidas por alguns fungos, como a aflatoxina (*Aspergillus flavus*), são tóxicas para humanos e animais. Já os fungos de coloração azul, entram facilmente pelas extremidades de colmos recém cortados, ou expostos a umidade durante o armazenamento e transporte e penetram no parênquima (Figura 3).

Figura 3 – Colmos de bambu atacados por fungos durante transporte (A) e armazenamento (B).



Fonte: Tang (2013).

Os fungos manchadores se nutrem de amido e carboidratos presentes nas células. Suas hifas causam coloração preto-azulada do bambu (Figura 4) em várias nuances e padrões. Esse tipo de fungo reduz a aparência estética, especialmente em espécies de bambus que apresentam rachaduras na superfície, mas não afeta as propriedades de resistência, exceto a resistência ao impacto em casos graves (LIESE; TANG, 2015).

Figura 4. Mancha azul em colmos armazenados.



Fonte: Liese e Kumar (2003).

Embora os esporos de fungos estejam presentes em todos os lugares, eles exigem certas condições para germinação, crescimento e degradação enzimática do substrato. O teor de umidade necessário do material deve ser de 40 a 80%. Bambu com teor de umidade abaixo

de 20% não é vulnerável a ataques. A faixa de temperatura em regiões onde o bambu é cultivado e usado é bem adequada para atividades fúngicas. A exposição direta do micélio ao sol com temperaturas acima de 55°C pode levar à destruição do sistema enzimático por desnaturação de proteínas. Existem, no entanto, vários fungos de decomposição cujos micélios sobrevivem a 95°C por algumas horas (SCHMIDT, 2006; WEI, 2014).

### 2.1.2.2. Insetos Xilófagos

Em regiões tropicais, cujo clima é quente e úmido são favoráveis para o desenvolvimento de insetos, que são responsáveis pelo ataque mais destrutivo às espécies de bambu. Cerca de 50 insetos pragas foram relatadas atacando colmos e produtos de bambu (WANG *et al.*, 1998).

Entre os insetos, destacam-se os besouros bostrychideos, Lyctideos e cerambycideos, e térmitas. O ciclo de vida dos besouros pode ser dividido em ovo, larva, pupa e adulto. O besouro fêmea escava orifícios no tecido do bambu, especialmente nas aberturas dos vasos, nas extremidades ou em fendas, e depositam seus ovos. As larvas se desenvolvem e penetram nos tecidos por escarificação mecânica. As partículas escarificadas são digeridas no intestino das larvas, e as fezes ou excrementos são excretados. Após algumas semanas ou meses, a larva se transforma em pupa e, depois em besouro. Ele abre seu caminho para fora do colmo de bambu, deixando orifícios de emergência na superfície, sendo o primeiro sinal de ataque (Figura 5). Os próprios besouros adultos geralmente não destroem o tecido do bambu, mas se acasalam dando início ao novo ciclo vital (LIESE; TANG, 2015).

Figura 5 – Resíduos gerados pelo ataque de besouros.

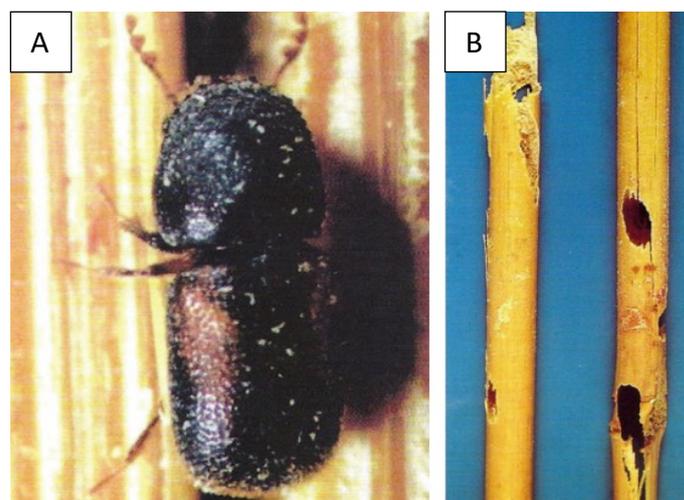


Fonte: Liese e Kumar (2003).

Os besouros do pó (bostrychideos e Lyctideos) atacam os colmos de bambu armazenados, transformando-os em pó, deixando apenas uma fina casca externa. O ataque desses besouros pode iniciar em até 24 horas após a colheita do colmo. As larvas se alimentam do amido e dos carboidratos existentes nas células do parênquima. O ataque ocorre principalmente na parte interna do colmo, onde está situada a maior parte do parênquima, principalmente dentro do diafragma. Eles podem fazer galerias por todo o tecido interno, deixando para trás uma fina superfície do córtex, o que fornece uma falsa impressão ao avaliar o dano para utilização. As espécies mais destrutivas são *Dinoderus minutus* e *D. brevis* (Bostrychidae), responsáveis por mais de 90% dos danos em colmos colhidos e produtos de bambu (LIESE; TANG, 2015).

O besouro adulto é marrom-escuro e tem cerca de 2,5–3,5 mm de comprimento (Figura 6). Os novos besouros fazem sua saída através do córtex duro do colmo por furos circulares de cerca de 1 mm de diâmetro. As espécies de bambu que apresenta uma parede espessa, como *Guadua* spp., os besouros removem o tecido amiláceo interno e saem sem muito dano estrutural, porque a resistência mecânica é mantida pelo tecido fibroso externo (LIESE; TANG, 2015). Outros besouros como os cerambicídeos também podem causar danos aos colmos de bambu.

Figura 6 – *Dinoderus* sp. adulto (A), partes de móveis atacado por cerambicídeos (B).



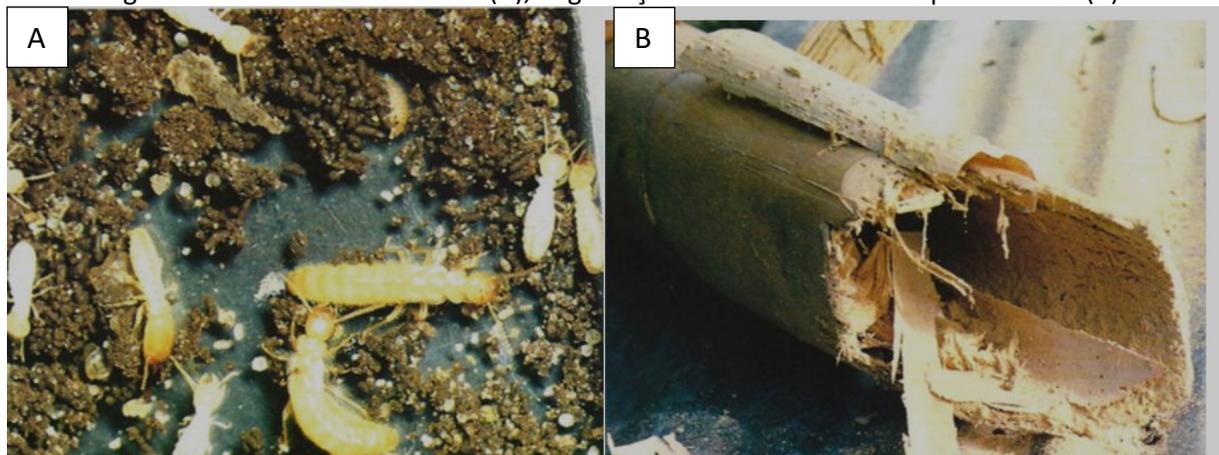
Fonte: Liese e Kumar (2003).

O que vai determinar a intensidade do ataque é a disponibilidade de amido que é influenciada pelas condições climáticas. O ataque dos besouros ocorre com maior frequência quando os colmos são mais jovens, que contêm maior quantidade de amido e umidade. A

ocorrência do ataque por brocas é influenciada pela espécie de bambu, sendo a *Bambusa vulgaris* mais atacada que espécies de *Pleioblastus*. Além do *Dinoderus* spp., outros como *Lyctus* spp. e *Minthea* spp. (Lyctideos) podem atacar os colmos e produtos de bambu, porém, causam menos danos (LIESE; TANG, 2015).

Térmitas de madeira seca podem atacar colmos de bambu. No entanto, eles são mais propensos ao ataque de térmitas subterrâneas. Esses insetos vivem em grupos bem organizados de várias centenas a alguns milhões de indivíduos. Apresenta sistema de castas organizado com "operários", um número menor de "soldados" e um par de reprodutores primários (rei e rainha). O ataque é causado pelos "operários" que constroem galerias e túneis em busca de alimento e também cuida da alimentação das demais castas. Eles estão entre os poucos insetos capazes de usar celulose como fonte de alimento, pois possuem bactérias simbióticas e protozoários em seu intestino. O ataque ocasionado pelas térmitas subterrâneas (Figuras 7), levam à destruição rápida do colmo, restando apenas uma fina camada do córtex (LIESE; TANG, 2015).

Figura 7. Térmitas subterrâneas (A), degradação do colmo de bambu por térmitas (B).



Fonte: Liese e Kumar (2003).

O bambu também pode ser utilizado em forma de estacas para colocar redes de pesca, em fazendas de aquicultura costeira e também para caibros de embarcações (Figura 8). Como essas estruturas são utilizadas em águas marinhas ou salobras, estão sujeitas a degradações por brocas marinhas. Os ataques são causados por indivíduos da família Teredinidae (*Banksia* spp., *Martesia* spp. e *Teredo* spp.), que perfuram e atacam o colmo de bambu, deixando apenas um pequeno orifício de entrada na superfície. Porém podem destruir essas estruturas em poucos meses (LIESE; TANG, 2015).

Figura 8. Cerca de bambu para atividades de aquicultura nas Filipinas.



Fonte: Liese e Kumar (2003).

## 2.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E INSTABILIDADE DIMENSIONAL DO BAMBU

A composição química do bambu é semelhante à da madeira, com teores de holocelulose (celulose + hemicelulosos) de 63,4% e de lignina (23,2%) (BORGES; COLODETTE; GOMES, 2018), além de extrativos e cinzas (0,66 a 1,09%). Deste modo, é fonte de alimento para vários organismos xilófagos, como fungos, térmitas e coleópteros (coleobrocas). Sendo o *Dinoderus minutus* a principal coleobroca que ataca os colmos e produtos manufaturados de bambu (TIBURTINO *et al.*, 2015a). Marinho *et al.* (2012) citam que a composição química do bambu, principalmente o teor de amido, pode variar com a idade dos colmos.

O bambu por ser um material higroscópico, pode apresentar defeitos de rachadura e fendilhamento com a presença de variações de umidade. É um problema que além de causar instabilidade nas construções, abre caminho para o ataque de coleópteros, que dificilmente perfuram a camada externa do colmo (casca do bambu). Por não possuir células dispostas na direção radial, o bambu racha com maior facilidade que a madeira. Além disso, a presença de ar no entrenó é a causa frequente de rachadura nos colmos (COLLA, 2010).

## 2.3. VARIAÇÃO DO FORMATO DOS COLMOS E AUSÊNCIA DE FERRAMENTAS PARA USINAR O BAMBU

Características como resistência e durabilidade variam, sendo influenciadas pelas características do solo, local, clima predominante, teor de umidade, idade, maturidade do colmo e variedade do bambu. Assim, indivíduos da mesma espécie podem apresentar características de resistência mecânica e de durabilidade natural. Uma outra característica que pode comprometer sua utilização é o formato cilíndrico, oco e a variação entre a distância dos nós, não permitindo uma modulação adequada (JUDZIEWICZ *et al.*, 1999).

No processamento do bambu são utilizados ferramentas e equipamentos desenvolvidos para a madeira, fazendo com que a qualidade do material serrado não seja satisfatória. Lâminas de grande diâmetro e com quantidade inadequada de dentes acabam dilacerando as camadas externas. Além disso, à presença de sílica nas células periféricas do colmo, causam desgaste de forma mais acentuada nas ferramentas de corte. Sendo recomendado o uso de metal duro (carbureto de tungstênio) nos dentes (COLLA, 2010).

## 2.4. MECANIZAÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO

Um dos principais impedimentos para a produtividade em larga escala de bambu é a mecanização do sistema de cultivo. A mão de obra na fase de cultivo dos bambuzais representa 34% do custo de produção brasileira, percentual elevado quando comparado a outros cultivos silviculturais como o de pinus, cujo custo com mão de obra no campo é de 5% por possuir cultivo mecanizado (CARNEIRO *et al.*, 2018).

Assim, a dependência de mão de obra na cultura de bambus, os custos operacionais e a mecanização embasada em outros sistemas florestais, dificultam a mecanização no cultivo da cultura no Brasil. A mecanização agrícola é um recurso que deve auxiliar no atendimento das exigências produtivas e de mercado do agronegócio, prezando por uso racional das máquinas, preconizando agilidade e qualidade das operações a um custo financeiro que seja viável (CARNEIRO *et al.*, 2018).

## 2.5. ESCASSEZ DE MUDAS

Um dos grandes empecilhos à disseminação do uso do bambu em escala comercial está associado à oferta de colmos de boa qualidade, reflexo da insuficiência de fornecedores de mudas, para a execução de projetos em escala industrial (COLLA, 2010). Assim, é recomendável que os interessados instalem viveiros para a produção própria de mudas.

As mudas podem ser propagadas por pedaços de rizoma, pedaços de colmo e ramos laterais (BERALDO; PEREIRA, 2016). Tais métodos têm restrições quando se deseja um número elevado de plantas. Para esses casos, a micropropagação é uma alternativa de maior viabilidade (NOGUEIRA *et al.*, 2017).

Por meio da micropropagação, algumas espécies podem gerar em apenas seis meses cerca de 200 a 500 mudas, provenientes de apenas um propágulo. Para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2023), este método pode viabilizar a produção em larga escala do bambu e impulsionar a cadeia produtiva dessa matéria-prima

renovável e sustentável e da produção de laminas, que são adequadas a aplicação industrial do bambu, como em pisos, móveis, utensílios e materiais para medicina assistiva.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os empresários e industriais brasileiros ainda não reconheceram o potencial que o bambu representa para os mais variados usos e aplicações. Assim, ele permanece associado a obras temporárias e de baixa durabilidade, normalmente ligadas aos setores mais carentes da sociedade. Esse fato se opõe ao que ocorre em outros países do Continente Asiático onde bambu é utilizado em larga escala.

A pouca aplicabilidade desse material está relacionada a fatores que restringem seu uso, como o pouco conhecimento científico e incentivo à produção local; falta de consolidação de uma cadeia produtiva; ausência de mão de obra e de equipamentos adequados para a usinagem dos colmos; fatores culturais, que associam o uso do bambu a obras temporárias, fazendo com que sua expectativa de vida útil em construções e design de móveis seja limitada para fins artesanais.

### REFERÊNCIAS

- ALVES, A. A. **Uso do bambu na construção civil: aplicações estruturais e arquitetônicas para um desenvolvimento sustentável.** 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.
- BAMBI, G.; FERRAZ, P.F.P.; FERRAZ, G.A.S.; PELLEGRINI, P.; DI GIOVANNANTONIO, H. Measure of thermal transmittance of two different infill wall built with bamboo cultivated in Tuscany. **Agronomy Research**, v. 17, p. 923-934, 2019.
- BERALDO, A. L. Bamboo housing: evaluation of the component' s decay after 17 years of exposure. In: AMAZON & PACIFIC GREEN MATERIALS CONGRESS AND SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS LAT-RILEM CONFERENCE, 6., 2016, Cali, **Proceedings...** Cali: Universidad del Valle/Facultad de Ingeniería/Escuela de Ingeniería de Materiales, 2016. CD-ROM.
- BORGES, F. P.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. Utilização do bambu como matéria-prima na obtenção de polpa celulósica voltada à fabricação de papel de embalagem Sackraft. **The Journal Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 4, p. 1-7, 2018.
- CAMPOS, A. F. G. F. **Tratamentos químicos de colmos de bambu para utilização na construção civil: uma revisão sistemática.** 2024. 48f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) - Instituto Federal Goiano, *Campus* Rio Verde, 2024.

- CARNEIRO, K. P. S.; CORREIA, T. P. S.; FAGGION, F.; SILVA, P. R. A.; DE SOUSA, S. F. G. Custo operacional do cultivo de bambu gigante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 47., 2018, Brasília. **Anais...** Brasília: CONBEA/SBEA, 2018. CD-ROM.
- COLLA, W. A. **Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus* (Munro)**. 2010. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Nova técnica permite reprodução em larga escala de bambu, 2023**. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/agricultura/agronegocio/bambu-nova-tecnica-permite-reproducaoem-larga-escala/#:~:text=A%20Embrapa%20Recursos%20Gen%C3%A9ticos%20e,partir%20de%20um%20%C3%BAnico%20prop%C3%A1gulo>>. Acesso em: 07 maio 2025.
- HANDANA, M. A. P.; SURBAKTI, B.; KAROLINA, R. The effect of borax solution as preservative to the mechanical properties of bamboo. **International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology**, p. 79-88, 2020.
- JUDZIEWICZ, E. J.; CLARK L. G.; LODOÑO, X.; STERN, M. J. **American bamboos**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1999.
- LEITE, F. R. C.; CHAVES, F. I. P.; BAMBIRRA, J. V. O.; MORAIS, S. C. A.; VIEGAS, V. P. A. **A utilização do bambu na construção civil como fonte de material sustentável**. 2023. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Privado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.
- LEMOS, S. R. **Análise experimental da aplicação do bambu *Bambusa vulgaris vittata* na construção civil**. 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis, GO, 2019.
- LIESE, W. Preservation of bamboo structures. **Ghana Journal of Forestry**, v.15, p. 40–48, 2004a.
- LIESE, W. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM GUADUA, 2004, Pereira. **Proceedings...** Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2004b. p 20-29.
- LIESE, W.; KUMAR, S. Bamboo preservation compendium. New Delhi: Centre for Indian Bamboo Resource and Technology, 2003, 231 p. (INBAR Technical Report, 22).
- LIESE, W.; TANG, T. K. H. Preservation and drying of bamboo. In: LIESE, W.; KÖHL, M. (Eds.). **Bamboo: The plant and its uses**. Cham: Springer, 2015. p. 257–297.

- MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. BOLZON DE MUÑIZ. G. I. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v.22, n. 2, p. 417-422, 2012.
- MATSUOKA, J. H. **Avaliação da eficiência do ácido pirolenhoso no tratamento preservativo de taliscas de bambu gigante contra a deterioração por fungos**. 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- NOGUEIRA, J. S.; COSTA, F. H. S.; VALE, P. A. A.; LUIS, Z. G.; PEREIRA, J. E. S. Micropropagação de bambu em larga escala: princípios, estratégias e desafios. In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. (Orgs). **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH, 2017. p. 103-129.
- PEDRANGELO, A. D. C. S.; DIAS, J. L.; KATTEL, C. C. L. B.; MOREIRAS, S. T. F. Potencialidades do material bambu: Uma revisão bibliográfica. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v. 5, n. 7, p. 1-15, 2020.
- SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use**. Berlin: Springer, 2006, 336p.
- TANG, T. K. H. **Preservation and drying of commercial bamboo species of Vietnam**. 2013. 104f. (Doktors der Naturwissenschaften) - Fachbereichs Biologie, der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der Universität Hamburg, 2013.
- TIBURTINO, R. F.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; BERALDO, A. L.; ARANTES, M. D. C. Resistência de duas espécies de bambu tratadas contra fungos xilófagos. **Revista Árvore**, v. 39, p. 567-574, 2015a.
- TIBURTINO, R. F.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; BROCCO, V. F.; ARANTES, M. D. C. Resistência de duas espécies de bambu tratadas com CCB contra cupins e coleópteros xilófagos. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 425-435, 2015b.
- WANG, H.; VARMA, R. V.; TIANSEN, X. **Insects of bamboos in Asia: an illustrated manual**. Beijing: INBAR, 1998. (Technical Report, 13).
- WEI, D. **Bamboo inhabiting fungi and their damage to the substrate**. 2014. 165f. Dissertation (Doktors der Naturwissenschaften) - Department of Biology, Hamburg University, Hamburg, 2014.

# CAPÍTULO XIII

## CARDANOL COMO ADESIVO SUSTENTÁVEL PARA APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA

### CARDANOL AS A SUSTAINABLE ADHESIVE FOR APPLICATIONS IN THE WOODEN PANEL INDUSTRY

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-13

Ana Carolina Corrêa Furtini <sup>1</sup>  
Flávia Maria Silva Brito <sup>2</sup>  
Josy Anteveli Osajima Furtini <sup>3</sup>  
Lourival Marin Mendes <sup>4</sup>  
José Benedito Guimarães Júnior <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia de Biomateriais - Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras -MG, Brasil, Professora substituta CEFET-Curvelo.

<sup>2</sup> Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Brasil.

<sup>3</sup> Professora Doutora do Departamento de Química – DQI, Universidade Federal do Piauí, UFPI, Teresina, PI, Brasil

<sup>4,5</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Lavras -MG, Brasil.

#### RESUMO

Os adesivos que abastecem as indústrias de painéis de madeira são produzidos à base de petróleo, potencialmente cancerígenos e ambientalmente tóxicos, tais como formaldeído e isocianato. A sociedade de forma geral vem se conscientizando e por isso há necessidade de desenvolver de adesivos de base biológica, em substituição aqueles sintéticos tradicionalmente utilizados na indústria madeireira. Nesse contexto, surge o cardanol, composto fenólico derivado do líquido da castanha de caju (LCC), que se destaca como uma promissora matéria-prima para o desenvolvimento de bioadesivos. Este capítulo de revisão de literatura aborda o potencial do cardanol como bioadesivo sustentável, considerando suas propriedades químicas, rotas de modificação, desempenho adesivo e impacto ambiental. Este capítulo aborda o potencial do cardanol como alternativa viável e ecologicamente correta para adesivos em aplicações madeireiras, em paralelo com sustentabilidade e inovação da indústria moderna.

**Palavras-chave:** Bioadesivo. Painéis de madeira. Sustentabilidade. Resíduos. Emissão de formaldeído.

#### ABSTRACT

Adhesives used in the wood panel industry are produced from petroleum, which are potentially carcinogenic and environmentally toxic, such as formaldehyde and isocyanate. Society in general has become increasingly aware of the need to develop bio-based adhesives to replace the synthetic ones traditionally used in the wood industry. In this context, cardanol, a phenolic compound derived from cashew nut liquid (CNSL), has emerged and stands out as a promising raw material for the development of bioadhesives. This literature review chapter addresses the potential of cardanol as a sustainable bioadhesive, considering its chemical properties, modification routes, adhesive performance and environmental impact. This chapter addresses the potential of cardanol as a viable and environmentally friendly alternative for adhesives in wood applications, in parallel with the sustainability and innovation of modern industry.

**Keywords:** Bioadhesive. Wood panels. Sustainability. Waste. Formaldehyde emission.



## 1. INTRODUÇÃO

Os painéis aglomerados são produzidos com materiais lignocelulósicos com adesivos a base de formaldeído (ureia, melamina ou fenol), conformados por meio de pressão e prensagem a quente (FARROKHPAYAM *et al.*, 2016). Para produção de painéis aglomerados são necessárias algumas etapas como disponibilidade de partículas, peneiragem, secagem, mistura das partículas com o adesivo, formação do colchão, prensagem a quente e o condicionamento dos painéis (MORAIS *et al.*, 2018).

Aproximadamente, no processo de produção das indústrias são utilizados 95% de adesivos à base de formaldeído (KUMMAR e PIZZI, 2019) e o tipo mais comum são as resinas de ureia-formaldeído (UF), cujo consumo total é estimado em aproximadamente 11 milhões de toneladas por ano (PIZZI, 2020).

As vantagens do adesivo a base de UF incluem baixo custo, incolor, tempo de cura rápido (LIU *et al.*, 2018; DAZMIRI *et al.*, 2019) resistência a microrganismos e abrasão, fácil adaptabilidade e excelente adesão à madeira (KHANJANZADEH *et al.*, 2019). As matérias-primas dos para produção dos adesivos são provenientes do petróleo, e grandes quantidades de formaldeído livre podem ser emitidas dos adesivos, o que é desfavorável ao meio ambiente e à saúde humana (FENG *et al.*, 2023, LI *et al.*, 2022a). Esses impactos promoveram estudos em direção aos adesivos à base de biopolímeros, que são abundantes, sustentáveis e renováveis.

De acordo com estudos recentes, vários tipos de biopolímeros, como lignina, proteínas, polissacarídeos ou carboidratos, têm sido aplicados como materiais adesivos para madeira (FERDOSIAN *et al.*, 2017). Dentro desse contexto surge o cardanol, como objeto de pesquisa para essa finalidade. O cardanol é considerado uma fonte renovável aromática promissora aos fenóis derivados do petróleo (CAILLOL, 2018) em função de alguns fatores como alta reatividade com formaldeído, é um resíduo agrícola barato, extraído do líquido da casca da castanha de caju, atóxico, grande disponibilidade e ecologicamente correto (GUO *et al.*, 2021).

Estudos realizados em Instituições de pesquisas já relatam o potencial da síntese de adesivos à base de cardanol-formaldeído, como substituto de adesivos petrolíferos tais como Furtini *et al.* (2022), Khan *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2020), Stalin e Shobhanadevi (2021); Faria *et al.* (2023) relataram o potencial da síntese de adesivos à base de cardanol-formaldeído. O

objetivo dessa revisão é discorrer sobre o potencial do cardanol para ser utilizado como adesivo de forma parcial ou total para colagem de madeira e seus derivados.

## 2. UTILIZAÇÃO DO CARDANOL COMO ADESIVO PARA COLAGEM DE MADEIRAS

Painéis são produtos produzidos a partir de produtos derivados de madeira (lâminas, partículas, sarrafos e fibras) coladas com adesivo sintético ou natural e conformadas sob ação de calor e pressão. O adesivo é uma substância capaz de promover a união de outros materiais em sua superfície, por meio da adesão, que é o fenômeno físico-químico que estabelece a ligação entre superfícies sólidas. Os painéis são utilizados em construção, decoração, móveis e revestimentos.

Para produção de painéis são utilizadas resinas fenólicas, de origem petroquímica, não possui caráter renovável e tem alto custo, além de ser tóxicas e prejudiciais ao meio ambiente (CHUNG e WASHBURN, 2012). Nos últimos anos, diversas pesquisas têm sido conduzidas com adesivos naturais, livres de formaldeído e de baixo custo, como alternativa aos adesivos sintéticos tradicionalmente utilizados nas indústrias, os quais são à base de formaldeído (ZENG *et al.*, 2022). A relevância desse tema é evidente, uma vez que os adesivos sintéticos apresentam riscos significativos ao meio ambiente, podendo contaminar a água, o solo e o ar, além de representarem uma ameaça à saúde humana (GONZÁLEZ *et al.*, 2016).

Entretanto algumas limitações, relacionadas a utilização e industrialização, são típicas desses adesivos como baixa resistência à umidade e baixa adesão (BOUSSETTA *et al.*, 2022). As principais vantagens e desvantagens destes adesivos livres de formaldeído estão apresentadas no Quadro 1 (HUANG *et al.*, 2022).

Tabela 1 – Características dos adesivos livres de formaldeído.

Tipo de adesivo	Vantagens	Desvantagens	Referências
À base de proteína de soja	Abundância, favorável ao meio ambiente, renovável, baixo custo, boa resistência a seco, biodegradável.	Baixa resistência à água, baixa taxa de cura, fácil de mofar.	Averina <i>et al.</i> (2021); Gu <i>et al.</i> (2020); Pang <i>et al.</i> (2021); Xu <i>et al.</i> (2020)
À base de amido	Não tóxico, favorável ao meio ambiente, baixo custo, textura fina, não mancha, boa resistência a seco, boa estabilidade, pH neutro.	Baixa resistência à água, má adesão inicial, fácil de mofar.	Din <i>et al.</i> (2020); Monroy <i>et al.</i> (2020); Xiong <i>et al.</i> (2020)

Tipo de adesivo	Vantagens	Desvantagens	Referências
À base de lignina	Abundância, favorável ao meio ambiente, renovável, baixo custo.	Alta variabilidade, desempenho instável.	Ghaffar e Fan (2014) ; Raj <i>et al.</i> (2020) ; Zou <i>et al.</i> (2021)
À base de tanino	Abundância, favorável ao meio ambiente, renovável, baixo custo, cura rápida.	Alta viscosidade, alta reatividade, vida útil curta, baixa resistência à umidade.	Silva Araújo <i>et al.</i> (2021) ; Lopes <i>et al.</i> (2021)
À base de isocianato	Alta reatividade, cura rápida, boa resistência à água, livre de formaldeído.	Alta toxicidade, alto custo, baixo peso molecular, penetração excessiva.	Ma <i>et al.</i> (2020) ; Okada <i>et al.</i> (2020)
Termoplástico	Processo de fabricação simples e tempo de fabricação curto.	Baixa temperatura de transição térmica, baixa rigidez.	Forrester <i>et al.</i> (2020)
Látex	Baixa viscosidade, favorável ao meio ambiente, baixo custo, boa adesão.	Baixa resistência à água, deformação por fluência.	Mabrouk <i>et al.</i> , 2020 , Ouzas <i>et al.</i> , 2018

Fonte: Adaptado de Huang *et al.* (2022) citado por Furtini (2024).

O cardanol é uma opção promissora, atóxica, que representa uma alternativa natural aos fenóis provenientes do petróleo. É um residuo agrícola de baixo custo, extraído do líquido da casca de castanha de caju (LCC), obtido do fruto do cajueiro (*Anacardium occidentale*). O líquido equivale em média de 20-25% do peso do caju presente no mesocarpo da casca de castanha de caju, conforme ilustrado na Figura 5 (UCHOA *et al.*, 2021; JIA *et al.*, 2019, CAILLOL, 2018).

Figura 5 – Seção transversal da castanha de caju



Fonte: Adaptado de Puchot (2017) citado por Furtini (2024).

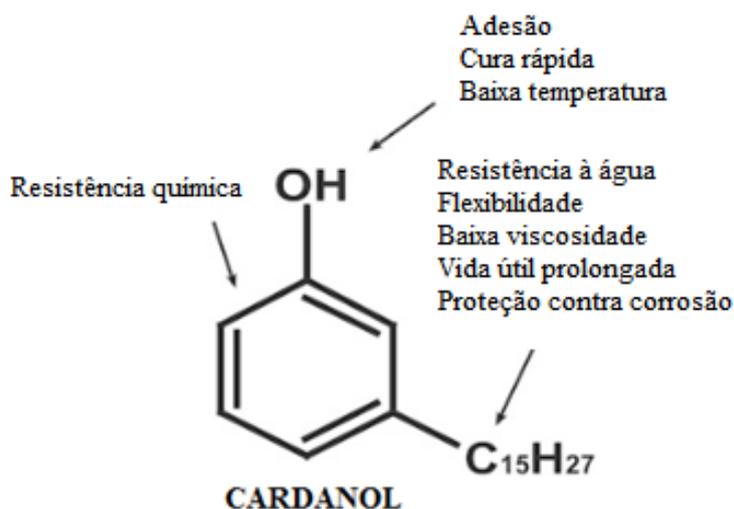
O LCC pode ser removido com solvente ou extraído de forma mecânica. Quando é obtido por meio de solvente, o líquido contém em torno de 10% de cardanol, 60%–65% ácido anacárdico, 15%–20% cardol e vestígios de metilcardol (NAMBELA *et al.*, 2022). Por meio mecânico, a extração se dá através da torrefação, em temperatura acima de 180°C, obtém-se o LCC de grau técnico, neste caso o ácido anacárdico sofre uma reação de descarboxilação e é convertido em cardanol, obtendo-se 68-95% de cardanol, 3,8-19% de cardol, 1,2-4,1% de metilcardol e 1,1-1,8% de ácido anacárdico (MAZZETTO *et al.*, 2009).

Cerca de 3,71 milhões de toneladas métricas de castanha de caju com casca foram produzidas no mundo, em 2021 (FIOR MARKET, 2020). Conforme o relatório publicado pela Fior Markets (2023), o mercado global de LCC tem previsão de alcançar por volta de US\$ 489 milhões até 2026, apresentando uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 7,81% de 2019 a 2026. Com produção global em torno de 800kt/ano, o mercado de cardanol foi avaliado em US\$ 32 milhões em 2022 e tem projeção de alcançar US\$ 58 milhões até 2028, com CAGR de 10,3% durante o período analisado. Esses dados evidenciam tanto o LCC quanto o cardanol estão disponíveis comercialmente como matérias-primas de base biológica (CALIOLL, 2023).

O cardanol, frente aos demais materiais renováveis, possui boa resistência, rigidez e flexibilidade concomitantemente, em decorrência da existência do grupo hidroxila fenólico, anel benzênico, cadeia insaturada linear C15 e posição de dupla ligação, que conferem alta flexibilidade à molécula, tornando o cardanol uma alternativa promissora para a produção de polímeros, como adesivos (HUANG *et al.*, 2022) para madeira e seus derivados.

O anel aromático, por exemplo, contribui para uma estrutura química estável e resistente a altas temperaturas. As propriedades de boa aderência, alta reatividade e capacidade de cura rápida, mesmo em temperaturas mais baixas são conferidas pelos grupamentos de hidroxila. Além disso, a longa cadeia lateral proporciona elevada resistência à água e à umidade, baixa viscosidade, maior durabilidade e excelente desempenho na proteção contra corrosão (PHILIPS, 2022), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Estrutura química do cardanol e suas características.



Fonte: Adaptado de Philips (2022) citado por Furtini (2024)

Em função dos grupos fenólicos, o cardanol reage com o formaldeído e origina adesivos novolac ou resol (SARIKA *et al.*, 2020). A cadeia de hidrocarbonetos presente no cardanol também funciona como um plastificante interno, pois suaviza a estrutura do polímero, reduzindo a rigidez e aumentando a flexibilidade na formulação de adesivos. Isso ocorre porque o cardanol é capaz de reagir com o formaldeído, formando uma rede tridimensional de polímeros semelhante à das resinas comerciais que são conhecidas, com fenol-formaldeído (SANTOS *et al.*, 2010), tornando-o uma opção viável e promissora para redução das emissões de formaldeído.

Devido à sua estrutura diferenciada e propriedades específicas — como ação antioxidante, resistência ao fogo, caráter hidrofóbico e capacidade de biodegradação (MAZZETTO *et al.*, 2009) — o cardanol tem se destacado como objeto de estudo em diversas pesquisas. Esse interesse está alinhado com a crescente preocupação global quanto à utilização de materiais ambientalmente seguros e menos nocivos à saúde humana. Nesse contexto, a substituição total ou parcial dos fenóis derivados do petróleo pelo cardanol é considerada vantajosa, pois contribui para melhorar o desempenho ambiental e econômico das resinas fenólicas, ao mesmo tempo em que valoriza um subproduto residual e promove a conservação dos recursos fósseis (SARIKA *et al.*, 2020).

Nesse cenário, Zhang *et al.* (2020) avaliaram a estabilidade e a degradação térmica de adesivos fenólicos sintetizados a partir de cardanol e formaldeído. Segundo os autores, os adesivos do tipo fenol-cardanol-formaldeído (FCF) apresentam propriedades similares às dos adesivos fenol-formaldeído (FF) convencionais, porém com maior flexibilidade. No entanto,

as resinas FCF apresentam algumas limitações em relação às fenólicas tradicionais, como menor resistência à tração e estabilidade térmica inferior. Os dados indicam que o comportamento térmico do adesivo FCF é comparável ao do adesivo FF comercial em temperaturas mais baixas, mas diferem em temperaturas elevadas. O adesivo FF demonstrou maior estabilidade térmica, com um resíduo de 80% a 460 °C, enquanto o FCF apresentou menor estabilidade, com 80% de resíduo a 390 °C. Essa diferença é atribuída à interferência da longa cadeia alquílica do cardanol, que reduz o grau de reticulação do polímero. Com base nesses resultados, conclui-se que as resinas fenólicas do tipo novolac modificadas com cardanol podem ser aplicadas em diversos setores industriais, como adesivos estruturais, revestimentos e matrizes de compósitos de alto desempenho, especialmente nas áreas aeroespacial e eletrônica.

Stalin e Shobhanadevi (2021) conduziram um trabalho utilizando fibra de juta como reforço (10, 20, 30 e 40% em peso) tratada e não tratada, em biocompósitos e resina de cardanol-formaldeído como matriz. Foi produzido adesivo cardanol-formaldeído utilizando cardanol, formaldeído e hidróxido de amônio na razão molar de 1,0:1,5:0,140 em peso. Os compósitos com juta 30% em peso evidenciaram um melhor desempenho em relação as características térmicas. Por outro lado, as propriedades térmicas melhoraram com os compósitos de juta tratados (5% NaOH), o que resultou da melhor aderência interfacial e melhor dispersão entre a resina de cardanol e a fibra de juta. Os resultados demonstraram que a adição de fibras de juta em compósitos utilizando resina de cardanol-formaldeído representa uma alternativa sustentável aos materiais convencionais para reforçar matrizes poliméricas, na construção de componentes voltados à produção de usinas de biogás.

Furtini *et al.*, (2022) desenvolveram uma pesquisa na qual avaliaram a substituição do adesivo UF pelo cardanol (0, 20, 40, 60 e 80%) para a produção de painéis aglomerados. Os autores notaram que o teor de sólidos do adesivo aumentava (70–87%) e a viscosidade diminuía (1,81–0,11 Pa·s) diante a substituição do adesivo UF. Em relação as propriedades a absorção de água (AA), inchamento em espessura (IE) e a taxa de não retorno de espessura (TNR) aumentaram com a adição de cardanol e isso ocorreu devido à baixa qualidade de colagem das partículas. Para as propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade (2641–743 MPa), módulo de ruptura (13,00–1,08 MPa) e ligação interna (0,77–0,06 MPa) diminuiram. No teste de combustibilidade, até 60% de cardanol retardaram eficientemente a combustão dos

painéis. Considerando a análise conjunta de todos os resultados obtidos, foi possível uma substituição máxima de UF por cardanol de 5% para comercialização dos painéis.

Em experimento realizado por Faria *et al.* (2023) a ueia foi substituída por cardanol-formaldeído na manufatura painéis constituídos com diferentes proporções de resíduos de palha de feijão e madeira de pinus. Os autores notaram melhorias significativas na qualidade dos painéis produzidos com cardanol como maior desempenho mecânico e menor absorção de água, em relação aos painéis produzidos com resíduos de feijão e adesivo à base de ureia-formaldeído (UF). Observou-se um aumento significativo no módulo de elasticidade (MOE), que atingiu 1172 MPa, e no módulo de ruptura (MOR), que chegou a 4,39 MPa, valores superiores aos obtidos nos painéis colados com UF, os quais apresentaram MOE de 764 MPa e MOR de 2,45 MPa. Além disso, o uso do adesivo cardanol-formaldeído proporcionou uma redução de 93% na emissão de formaldeído, diminuindo de 16,76 para 1,09 mg/100 g, evidenciando seu potencial como alternativa mais segura e sustentável.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os adesivos sintéticos utilizados nas indústrias de fabricação de painéis causam preocupação em relação aos impactos ambientais e à saúde humana, em função da liberação de substâncias tóxicas durante sua fabricação, uso ou descarte. Com isso, surge a demanda por alternativas que sejam mais seguras e sustentáveis, principalmente no setor de painéis de madeira e outros produtos derivados da madeira.

O cardanol, é um composto fenólico obtido da casca da castanha de caju, que surge como uma alternativa promissora para substituir esses adesivos, uma vez que possui propriedades que são capazes de promover melhorias significativas na qualidade dos painéis e reduzir a emissão de formaldeído, além de ser uma matéria-prima renovável e menos tóxica. Ao substituir adesivos convencionais, o cardanol gera inovações na indústria, ao mesmo tempo que promove sustentabilidade, diminuindo os impactos ambientais e a dependência de recursos fósseis.

### REFERÊNCIAS

BOUSSETTA, A.; ABLOUH, E.; BENHAMOU, A. A.; TAOURIRTE, M.; MOUBARIK, A. Valorization of Moroccan brown seaweeds: Elaboration of formaldehyde-free particleboards based on sodium alginate–corn-starch - Mimosa tannin wood adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 108, p. 102894, 2021.

- CAILLOL, S. Cardanol: A promising building block for biobased polymers and additives. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 14, p. 26-32, 2018.
- CHUNG, H.; WASHBURN, N. R. Chemistry of lignin-based materials. *Green materials*, London, v. 1, n. 3, p. 137–160, 2013.
- DAZMIRI, M. K.; KIAMAHALLEH, M. V.; DORIEH, A.; PIZZI, A. Effect of the initial F/U molar ratio in urea-formaldehyde resins synthesis and its influence on the performance of medium density fiberboard bonded with them. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 95, p. 102440, 2019.
- FARROKHPAYAM, S. R.; VALADBEGYI, T.; SANEI, E. Thin particleboard quality: Effect of particle size on the properties of the panel. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, v. 13, n. 1, p. 38-43, 2016.
- FARIA, D. L.; SCATOLINO, M. V.; DE OLIVEIRA, J. E.; GONÇALVES, F. G.; SORIANO, J.; DE PAULA PROTÁSIO, T., LELIS, C. C. R; CARVALHO, L.M.H.; MENDES, L.M.; JUNIOR, J. B. G. Cardanol-based adhesive with reduced formaldehyde emission to produce particleboards with waste from bean crops. *Environmental Science Pollution Research*, v. 30, n. 16, p. 48270-48287, 2023.
- FIOR MARKET RESEARCH LLP. Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) Market by Type (Raw Cashew Nut Shell Liquid, Technical Cashew Nut Shell Liquid), Application, End User Industry. Regions, Global Industry Analysis, Market Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2019 to 2026. Fior Market Research LLP, 2020.
- FENG, W.; CAO, H.; JIN, T.; ZENG, H.; SHI, S.; XIE, L.; CHAI, X.; XU, K.; DU, G.; ZHANG, L. Air oxidation and hyperbranched crosslinking approach for a boiling water-resistant sucrose-derived wood adhesive. *Industrial Crops and Products*, v. 202, 117052, 2023.
- FERDOSIAN, F.; PAN, Z.; GAO, G.; ZHAO, B. Bio-based adhesives and evaluation for wood composites application. *Polymers*, v. 9, n. 2, p.1–29, 2017.
- FURTINI, A. C. C.; BRITO, F.M.S.; GUIMARÃES JUNIOR, M.; FURTINI, J. A. O, PINTO, L. A. M.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JUNIOR, J.B Substitution of urea-formaldehyde by renewable phenolic compound for environmentally appropriate production of particleboards. *Environmental Science Pollution Research*, v. 29, p. 66562–66577, 2022.
- GONZÁLEZ, I. V.; HUPFFER, H. M.; JAHNO, V. D. Os riscos ambientais da indústria de adesivos. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 38, p. 787-802, 2016.
- GUO, W.; WANG, X.; HUANG, J.; MU, X.; CAI, W.; SONG, L.; HU, Y. Phosphorylated cardanol-formaldehyde oligomers as flame-retardant and toughening agents for epoxy thermosets. *Chemical Engineering Journal*, v. 423, p. 130192, 2021.

- HUANG, C.; PENG, Z.; LI, J.; LI, X.; JIANG, X.; DONG, Y. Unlocking the role of lignin for preparing the lignin-based wood adhesive: A review. *Industrial Crops and Products*, v. 187, 115388, 2022.
- JIA, P.; SONG, F.; LI, Q.; XIA, H.; LI, M.; SHU, X.; ZHOU, Y. Recent development of cardanol based polymer materials – a review. *Journal of Renewable Materials*, v. 7, p. 601-619, 2019.
- KHAN, S.; MASOOD, S.; SIDDIQUI, K.; ALAM, M.; ZAFAR, F.; HAQUE, Q. M. R.; NISHAT, N. Utilization of renewable waste material for the sustainable development of thermally stable and biologically active aliphatic amine modified Cardanol (phenolic lipid) - Formaldehyde free standing films. *Journal of Cleaner Production*, v. 196, p. 1644-1656, 2018.
- KUMAR, R.N.; PIZZI, A. Environmental Aspects of Adhesives—Emission of Formaldehyde. In *Adhesives for Wood and Lignocellulosic Materials*; Wiley-Scrivener Publishing: Hoboken, NJ, USA, 2019; pp. 293–312.
- KHANJANZADEH, H.; BEHROOZ, R.; BAHRAMIFAR, N.; PINKL, S.; GINDL-ALTMUTTER W. Application of surface chemical functionalized cellulose nanocrystals to improve the performance of UF adhesives used in wood based composites-MDF type. *Carbohydrate Polymers*, v. 206, p. 11-20, 2019.
- LI, Z.; DU, G.; YANG, H.; LIU, T.; YUAN, J.; LIU, C.; LI, J.; RAN, X.; GAO, W.; YANG, L. Construction of a cellulose-based high-performance adhesive with a crosslinking structure bridged by Schiff base and ureido groups. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 223, p. 971-979, 2022.
- LIU, M.; WANG, Y.; WU, Y.; HE, Z.; WAN, H. “Greener” adhesives composed of urea-formaldehyde resin and cottonseed meal for wood-based composites. *Journal of Cleaner Production*, v. 187, p. 361-371, 2018.
- MAZZETTO, S. E; LOMONACO, D; MELE, G. Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 732-741, 2009.
- MORAIS, W. W. C.; HASELEIN, C. R.; SUSIN, F.; VIVIAN, M. A.; SOUZA, J. T. Uso de Bambusa tuldooides e Eucalyptus grandis para confecção de painéis aglomerados. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 2, 2018.
- PHILIPS, P. Cardanol. *Green Bio Technology*, 2022. Disponível em: <<https://www.lcbuffalo.com/cardanol/>> Acesso em: 11 jul. 2022.
- PIZZI, A.; PAPADOPOULOS, A.N.; POLICARDI, F. *Wood Composites and Their Polymer Binders*. *Polymers*, v.12, 1115, 2020.

- NAMBELA, L.; HAULE, L. V.; MGANI, Q. A. Anacardic acid isolated from cashew nut shells liquid: A potential precursor for the synthesis of anthraquinone dyes. *Cleaner Chemical Engineering*, v. 3, p. 100056, 2022.
- SARIKA, P. R.; NANCARROW, P.; KHANSAHEB, A.; IBRAHIM, T. Bio-based alternatives to phenol and formaldehyde for the production of resins. *Polymers*, v. 12, n. 10, p. 2237, 2020.
- SANTOS, R.S.; SOUZA, A. A.; PAOLI, M.; SOUZA, C. M. L. Cardanol–formaldehyde thermoset composites reinforced with buriti fibers: Preparation and characterization. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 41, n. 9, p. 1123-1129, 2010.
- STALIN, N.; SHOBHANADEVI, N. Studies on thermal, structural and compositional properties of agro-residue jute fiber composite reinforced with cardanol resin. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 13, n. 10, 2021.
- UCHOA, A. F.; ROCHA, W. S.; FEITOSA, J. P.; BRITO, D. H.; GONDIM, L. M.; RICARDO, N. M. S.; SOARES, J. B.; SOARES, S. A. Exploiting epoxidized cashew nut shell liquid as a potential bio-additive to improve asphalt binder performance. *Journal of Cleaner Production*, v. 314, p.128061, 2021.
- ZENG, G.; ZHOU, Y.; LIANG, Y.; ZHANG, F.; LUO, J.; LI, J.; FANG, Z. A hair fiber inspired bio-based adhesive with high bonding strength and mildew tolerance. *Chemical Engineering Journal*, v. 434, p. 134632, 2022.
- ZHANG, W.; JIANG, N.; ZHANG, T.; LI, T. Thermal stability and thermal degradation study of phenolic resin modified by cardanol. *Emerging Materials Research*, v. 9, n. 1, p. 180-185, 2020.

# CAPÍTULO XIV

## NANOTECNOLOGIA NO SETOR MADEIREIRO: O PAPEL DAS NANOPARTÍCULAS DE SÍLICA EM PAINÉIS AGLOMERADOS

### NANOTECHNOLOGY IN THE TIMBER INDUSTRY: THE ROLE OF SILICA NANOPARTICLES IN PARTICLEBOARDS

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-14

Ana Carolina Corrêa Furtini<sup>1</sup>  
Flávia Maria Silva Brito<sup>2</sup>  
Thaís Brito Sousa<sup>3</sup>  
Lourival Marin Mendes<sup>4</sup>  
José Benedito Guimarães Júnior<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia de Biomateriais - Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras -MG, Brasil, Professora substituta CEFET-Curvelo.

<sup>2</sup> Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Brasil.

<sup>3</sup> Professora Doutora do Departamento de Ciências Agrárias e Naturais, Universidade do Estado de Minas Gerais, UEMG, Ituiutaba MG, Brasil

<sup>4,5</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Lavras -MG, Brasil.

#### RESUMO

A nanotecnologia é uma área da ciência dedicada a pesquisa com elementos/produtos em escala atômica e molecular, visando o desenvolvimento de materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e funcionalidades diferenciadas e que trazem inovação. Entre as inovações tecnológicas que vêm sendo incorporadas em diversos setores industriais, destaca-se o setor madeireiro, especialmente na produção de painéis e compósitos lignocelulósicos. Nesse contexto, os nanomateriais, como as nanopartículas de sílica, apresentam elevado potencial de aplicação. A nanosílica pode ser um aditivo promissor para a fabricação de painéis de madeira, pois podem conferir algumas vantagens tais como boa estabilidade térmica, aumento da resistência mecânica e biológica, redução da instabilidade dimensional e da emissão de compostos orgânicos voláteis, como o formaldeído, melhorando significativamente o desempenho e a durabilidade desses materiais. Este capítulo de revisão tem como objetivo discorrer sobre os principais avanços relacionados ao uso das nanopartículas de sílica no setor madeireiro, com foco em seus efeitos sobre o desempenho físico-químico dos painéis de madeira.

**Palavras-chave:** Emissões de formaldeído. Sílica. Painéis reconstituídos. Madeira. Qualidade do ar interno.

#### ABSTRACT

Nanotechnology is a field of science dedicated to research with elements/products on an atomic and molecular scale, aiming at the development of materials, devices and systems with differentiated properties and functionalities that bring innovation. Among the technological innovations that have been incorporated into various industrial sectors, the timber sector stands out, especially in the production of lignocellulosic panels and composites. In this context, nanomaterials, such as silica nanoparticles, have high application potential. Nanosilica can be a promising additive for the manufacture of wood panels, as it can provide some advantages such as good thermal stability, increased mechanical and biological resistance, reduced dimensional instability and emission of volatile organic compounds, such as formaldehyde, significantly improving the performance and durability of these materials. This review chapter aims to discuss the main advances related to the use of silica nanoparticles in the timber sector, focusing on their effects on the physical-chemical performance of wood panels.

**Keywords:** Formaldehyde emissions. Silica. Reconstituted panels. Wood. Indoor air quality.



## 1. INTRODUÇÃO

Em 2021, o consumo mundial de painéis de partículas, incluindo aglomerados e MDP, foi de aproximadamente 100 milhões de metros cúbicos (FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO, 2021). Com a crescente demanda por esses painéis de média densidade, observa-se um uso intensivo de adesivos sintéticos à base de formaldeído (KRISTAK *et al.*, 2022). Dentre eles, destaca-se a resina ureia-formaldeído (UF), amplamente utilizada como matéria-prima essencial no processo de fabricação, sendo responsável por cerca de 90% ou mais da produção global desses painéis (KHANJANZADEH *et al.*, 2019).

Diversas vantagens justificam a ampla utilização do adesivo ureia-formaldeído (UF), entre as quais se destacam o baixo custo em comparação a outros adesivos, a simplicidade do processo de fabricação, elevada reatividade, excelente capacidade de adesão, cura rápida e aparência incolor (PU *et al.*, 2022; REN *et al.*, 2021). No entanto, esse adesivo apresenta limitações significativas, como a baixa durabilidade em ambientes úmidos, especialmente sob temperaturas elevadas, o que pode intensificar a liberação de formaldeído livre (DORIEH *et al.*, 2022).

Esse comportamento pode ser atribuído à natureza reversível das reações entre a ureia e o formaldeído, o que confere ao adesivo um potencial significativo de liberação de formaldeído, seja de forma imediata após o processo de produção ou de maneira gradual ao longo do tempo (KHANJANZADEH *et al.*, 2019; MOSLEMI *et al.*, 2020; SOLT *et al.*, 2019). A emissão desse composto químico tóxico, classificado como carcinogênico, apresenta um odor forte e desagradável, capaz de causar irritações nos olhos e nas vias respiratórias, além de estar associado a vários riscos à saúde humana (KORDKHEILI e PIZZI, 2023; RESMI e SUNIL 2015).

Diante dessa situação foram estabelecidas legislações específicas para emissões de formaldeído em painéis derivados de madeira (ZHANG *et al.*, 2018). O valor de referência interna de exposição ao formaldeído é de 0.1 mg/m<sup>3</sup> - (0.08 ppm) para 30 minutos de exposição ao formaldeído (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS, 2010). No Brasil e na Europa os limites estabelecidos para os painéis MDP são de 0.1 ppm; Estados Unidos 0.09 ppm; Alemanha 0.05 ppm e Japão 0.04–0.03 ppm (BOLOGNESI 2010; HEMMILÄ, 2019; SOLT *et al.*, 2019). Nesse contexto, as indústrias têm intensificado seus esforços na tentativa de atender às exigências estabelecidas pelas legislações ambientais, adotando, entre outras

estratégias, soluções baseadas em nanotecnologia — considerada uma abordagem promissora na mitigação das emissões de formaldeído em produtos madeireiros (BAHARUDDIN *et al.*, 2023; LYKIDIS, 2023). Estudos demonstram que a incorporação de nanopartículas de sílica (SiO<sub>2</sub>NPs) aos adesivos sintéticos utilizados na produção de painéis pode não apenas elevar a qualidade do produto final, mas também reduzir significativamente a liberação de formaldeído livre e melhorar a resistência das ligações internas (LU *et al.*, 2021).

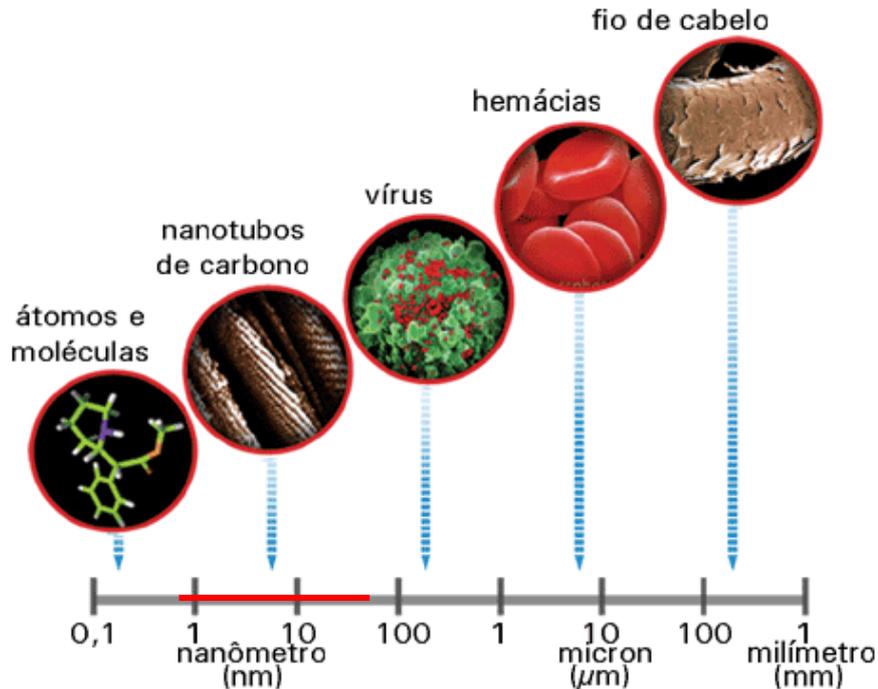
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia é um campo multidisciplinar que abrange ciência, engenharia e tecnologia voltado para o estudo e o desenvolvimento de materiais em escala nanométrica, ou seja, em dimensões muito pequenas, da ordem de bilionésimos de metro (BAYDA *et al.*, 2020). Os nanomateriais ou nanoestruturas estão inclusos numa faixa de tamanho com uma ou mais dimensões externas entre 1 a 100 nm (Figura 3) em função de alguns fatores tais como formatos, tamanhos, área de superfície e alta reatividade (NABI *et al.*, 2018).

A nanotecnologia apresenta elevado potencial para a produção de materiais com desempenho superior, sendo por isso considerada uma das tecnologias mais relevantes do século XXI (YADAV *et al.*, 2022). Além disso, pode contribuir significativamente para a redução das emissões de formaldeído em painéis reconstituídos de madeira. Esse efeito pode ser atribuído às propriedades específicas das nanopartículas, que podem: (i) promover um aumento indireto no grau de cura das resinas, resultando em maior estabilidade hidrolítica devido à intensificação das ligações químicas entre os componentes da resina e o formaldeído livre; (ii) reagir com grupos hidroxila presentes na superfície do nanomaterial, interagindo com o formaldeído livre; e (iii) atuar como barreiras físicas, gerando um 'efeito de blindagem' que dificulta a liberação do composto (LYKIDIS, 2023).

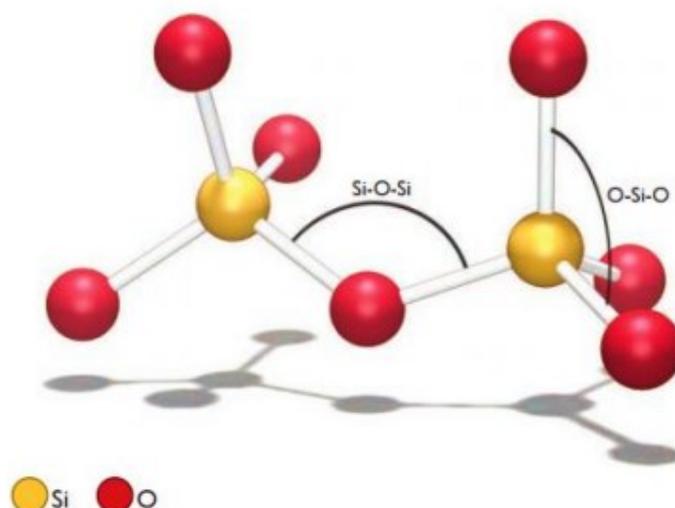
Figura 3 – Comparação do tamanho das estruturas em diferentes escalas.



Fonte: TOMA (2009) citado por Furtini (2024).

Dióxido de silício, dióxido de titânio, haloisita, óxido de alumínio, óxido de zinco, e nanotubos de carbono de nanocelulose são exemplos de alguns compostos pesquisados e descritos na literatura na forma de nanopartícula (LYKIDIS, 2023). O silício (Si) destaca-se como um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e é amplamente utilizado na nanotecnologia. Na forma de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), também conhecido como sílica, apresenta uma estrutura em forma de tetraedro. Essa configuração estrutural é composta por um átomo de silício central ligado a quatro átomos de oxigênio, formando unidades tetraédricas de silício-oxigênio ( $\text{SiO}_4$ ), conforme ilustrado na Figura 4 (YADAV *et al.*, 2022). A sílica pode ocorrer tanto em forma amorfa quanto cristalina (TEIXEIRA *et al.*, 2021; ALSHATWI *et al.*, 2015). Pode ser encontrada em sua forma pura, como no quartzo, areia, arenito e quartzito, ou combinada com outros minerais, como no feldspato e nos silicatos."

Figura 4 – Representação da unidade estrutural da sílica com dois tetraedros ligados.



Fonte: Figueiredo (2018) citada por Furtini (2024).

A nanossílica (nano-SiO<sub>2</sub>) também conhecida como pó de quartzo ou pó de sílica, é caracterizada por conter elevado teor de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), normalmente superior a 99% (GAYARRE *et al.*, 2021). Existem dois tipos de nano-SiO<sub>2</sub> diante a visão estrutural, a do tipo P e do tipo S. Do tipo P, possuem numerosos nanoporos a uma taxa de 0,61 ml/g, e do tipo S, são conhecidas pela pequena quantidade de nanoporos (AZONANO, 2019). A nano-SiO<sub>2</sub> pode ser sintetizada através de vários métodos, inclusive pelo processo sol-gel, microemulsão reversa, deposição química de vapor, síntese de plasma (RAHEM *et al.*, 2021; SINGH *et al.*, 2019).

Ultimamente as nanopartículas de sílica têm despertado grande interesse da comunidade científica em função de suas propriedades notáveis, como alta capacidade de reforço e preenchimento, grande área superficial específica, porosidade ajustável, alta estabilidade e baixa toxicidade (RAHEM *et al.*, 2021; SINGH *et al.*, 2019). A extensa área superficial da nano-SiO<sub>2</sub> favorece sua aplicação em diversos segmentos industriais, destacando-se o reforço de materiais na indústria da borracha, a melhoria das propriedades mecânicas do concreto, a formulação de inseticidas, tintas, produtos alimentícios e medicamentos, além do desenvolvimento de sistemas vitrocerâmicos, do aumento da produtividade agrícola (EL-DIDAMONY *et al.*, 2020) e da incorporação em adesivos utilizados na indústria madeireira."

## 2.2. ADIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE SÍLICA EM ADESIVOS PARA PAINÉIS DE MADEIRA

Uma dos principais vertentes de pesquisa, hoje em dia, é a incorporação de nanopartículas em adesivos sintéticas e naturais que visa melhorar o processo de adesão em componentes lignocelulósicos. Em painéis de madeira, a utilização de nanaosilica na constituição pode resultar numa melhora das propriedades tecnológicas, além de reduzir ou bloquear a emissão de formaldeído (COSTA, 2015). Os efeitos que as nanopartículas de sílica causam na estrutura e propriedades de adesivos indicam seu potencial, pois tem capacidade de produzir materiais com alto desempenho (LIN *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2011).

Ao avaliarem a qualidade de painéis compensados, aglomerados e MDF (painéis de fibra de média densidade) produzidos com adesivo a base de UF incrementado com 0,5, 1, 1,5, e 2% de nano-SiO<sub>2</sub>, Lin *et al.* (2006) notaram, que a adição de 1% de nano-SiO<sub>2</sub> misturada ao adesivo, proporcionou melhorias na resistência da ligação do adesivo e reduziu a emissão de formaldeído. Observaram nos painéis aglomerados, uma melhoria na propriedade de ligação interna de 0,33-0,42MPa e para emissão de formaldeído houve uma redução de 12,7-3,22 (mg/100g painel). Neste caso, os painéis atingiram o grau E1, ou seja, à classe com menor emissão de formaldeído (< 8 mg/100g painel). Isso pode ser explicado em função da boa capacidade de absorção da nano-SiO<sub>2</sub>, logo as partículas de nano-SiO<sub>2</sub> reagiram com os grupos ativos da resina UF pura e absorveram o formaldeído livre, evidenciando assim, o bom desempenho da nano para esta propriedade.

Ao avaliarem o efeito das diferentes concentrações (0, 1, 3 e 5%) de nanopartículas de sílica adicionadas no adesivo UF, para produção de painéis OSB (*oriented strand board*), Salari *et al.* (2013), notaram que a inclusão de 3% de nanopartículas aumentou a resistência mecânica MOR (18,12-21,73 MPa), a resistência à absorção de água (AA) após 2h (68,63 – 52,85 %) e após 24h (122,30-98,08%). Os autores notaram ainda uma redução na emissão de formaldeído 10,80-4,60(mg/100g painel) pois, a adsorção física do formaldeído foi acompanhada pela formação de ligações de hidrogênio entre os grupos silanol na superfície da sílica e os grupos ativos do adesivo e do formaldeído. Segundo os autores, essas melhorias foram causadas em função da adição em até 3% de nanopartículas, enquanto concentrações superiores promoveram redução no desempenho dos painéis avaliados.

O efeito da aplicação das nanopartículas de sílica pirogênicas como material de preenchimento para o adesivo melamina-ureia-fenol-formaldeído (MUFF), foi avaliados por

Dukarska e Czarnecki (2015), no processo de fabricação de compensados. Os autores relataram que a porcentagem ideal de nano sílica em relação a 100% de MUFF é de 2%, quantidade ideal para que a viscosidade possa atingir valores comparáveis aos do adesivo controle (1000 MPa.s) que foi formulado conforme receita industrial. Observou-se ainda que a aplicação do adesivo MUFF com adição de nano-SiO<sub>2</sub> até 120 g/m<sup>2</sup> permitiu diminuir o formaldeído livre em mais 20%, enquanto a aplicação de 180 g/m<sup>2</sup> permitiu reduzir a emissão de formaldeído em 25%. Dessa forma, os relatos disponíveis na literatura evidenciam que a diminuição da emissão de formaldeído dos painéis colados com adesivo UF modificado com nano-SiO<sub>2</sub> em baixas proporções pode ocorrer em função das propriedades de absorção da superfície bem desenvolvida da sílica.

Para Li *et al.* (2022) o adesivo melamina-formaldeído (MF) modificado com nano-SiO<sub>2</sub> promoveu melhorias em algumas propriedades tais como: tempo de cura, formaldeído livre e alongamento de ruptura. A adição de 0,42% de SiO<sub>2</sub> diminuiu a temperatura de transição vítrea da resina MF em 29,4 °C, enquanto o espectro TG evidenciou que a introdução de nano-SiO<sub>2</sub> não afetou de forma significativa a estabilidade térmica da MF, com perda de massa semelhante entre o adesivo modificado e de referência. Para o formaldeído livre houve uma redução de 0,133 - 0,076 %. Nota-se, portanto, que o adesivo com adição de nano-SiO<sub>2</sub>, possui propriedades favoráveis para sua aplicação em painéis de madeira e outros compósitos lignocelulósicos.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As nanopartículas de sílica, incorporadas no adesivo, utilizadas no processo de produção tem demonstrado melhorias nas propriedades tecnológicas dos painéis reconstituídos de madeira, indicado um avanço neste setor da indústria florestal, ou seja, sua aplicação influencia de forma positiva no padrão de qualidade final estabelecido pelo mercado. Ressalta-se que apesar dos benefícios existem alguns desafios que devem ser superados, como o custo, dispersão homogênea das nanopartículas e a necessidade de pesquisas mais aprofundadas em relação aos impactos sobre o meio ambiente e na saúde das pessoas.

## REFERÊNCIAS

- ALSHATWI, A. A.; ATHINARAYANAN, J.; PERIASAMY, V.S. Biocompatibility assessment of rice husk-derived biogenic silica nanoparticles for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, v. 47, p. 8-16, 2015.
- AZONANO. Silicon Dioxide (SiO<sub>2</sub>) Nanoparticles (2109). Properties & Applications Disponível em: <<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3398> > Acesso em: 8 set. 2022.
- BAHARUDDIN, M.; ZAIN, N. M.; HARUN, W.; ROSLIN, E. N.; GHAZALI, F. A.; MD SOM, S. N. Development and performance of particleboard from various types of organic waste and adhesives: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 124, p. 103378, 2023.
- BAYDA, S.; ADEEL, M.; TUCCINARDI, T.; CORDANI, M.; RIZZOLIO, F. The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical–Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*, v. 25, n. 1, 2020.
- BOLOGNESI, L. Quantificação de formaldeído em extrato aquoso obtido da emissão de painéis de madeira por espectrofotometria acoplada à injeção em fluxo. 2010. Dissertação de Mestrado - Pós-graduação em Química, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2010.
- COSTA, T. G. Caracterização de adesivos sintéticos com adição de nanopartículas de sílica como carga de reforço. 2016. Tese de Doutorado – Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2015.
- DORIEH, A.; SELAKJANI, P. P.; SHAHAVI, M. H.; PIZZI, A.; MOVAHED, S. G.; POUR, M. F.; AGHAEI, R. Recent developments in the performance of micro/nanoparticle-modified urea-formaldehyde resins used as wood-based composite binders: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 114, p. 103106. 2022.
- DUKARSKA, D.; CZARNECKI, R. Fumed silica as a filler for MUPF resin in the process of manufacturing water-resistant plywood. *European Journal of Wood and Products*. v. 74, p. 5–14, 2016.
- EL-DIDAMONY, H.; EL-FADALY, E.; AMER, A.A.; ABAZEED, I.H. Synthesis and characterization of low cost nanosilica from sodium silicate solution and their applications in ceramic engobes. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y vidrio*, v. 59 , n. 1, p. 31-43, 2020.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *FAO Statistical Yearbook. World Food and Agriculture*. 2021. Disponível em: < <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210010474> > Acesso em: 18 jun. 2022. *FAO Statistical*, 2021.

- FIGUEIREDO, S. S. Estudo da modificação da superfície de aerogéis de sílica a partir da troca de solvente com HMDS. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Materiais) – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, SP. 2018.
- FURTINI, A. C. C. Adesivo natural à base de cardanol modificado com nanopartículas de sílicas para produção de painéis MDP (*Medium Density Particleboard*). 2024. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2024.
- GAYARRE, F. L.; BOADELLA, I. L.; GONZALEZ, J. S.; LOPEZ-COLINA, C.; LOPEZ, M. S.; STOCHINO, F. Waste for aggregates in ultrahigh performance concrete (UHPC). *Waste and Byproducts in Cement-Based Materials*, p. 29-51, 2021.
- HEMMILÄ, V. Towards low-emitting and sustainable particle- and fibreboards – Formaldehyde emission test methods and adhesives from biorefinery lignins. 2019. Tese (Doutorado) Forestry and Wood Technology, Linnaeus University, 2019.
- KRISTAK, L.; ANTOV, P.; BEKHTA, P.; LUBIS, M. A. R.; ISWANTO, A. H.; REH, R.; HEJNA, A. Recent progress in ultra-low formaldehyde emitting adhesive systems and formaldehyde scavengers in wood-based panels: a review. *Wood Material Science & Engineering*, v. 18, n. 2, p. 763–782. 2022.
- KHANJANZADEH, H.; BEHROOZ, R.; BAHRAMIFAR, N.; PINKL, S.; GINDL-ALTMUTTER W. Application of surface chemical functionalized cellulose nanocrystals to improve the performance of UF adhesives used in wood based composites-MDF type. *Carbohydrate Polymers*, v. 206, p. 11-20, 2019.
- LI, C. F.; QIN, Z. X.; LIU, Y.; PAN, Y. D; LIU, M. L. Preparation of a nano-silica modified melamine formaldehyde resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 113, p. 103076, 2022.
- LIN, Q.; YANG, G.; LIU, J. RAO, J. Property of nano-SiO<sub>2</sub>/urea formaldehyde resin. *Frontiers of Forestry in China*, v. 1, n. 2, p. 230-237, 2006.
- LYKIDIS, C. Formaldehyde Emissions from Wood-Based Composites: Effects of Nanomaterials. In: Taghiyari, H. R., Morrell, J. J., Husen, A. (Eds). *Emerging Nanomaterials*. Cham: Springer, p. 337-360, 2023.
- LU, L.; WANG, Y.; LI, T.; WANG, S.; YANG, S.; QING, Y.; XINGONG, L.; YIQIANG W.; LIU, M. Calcium carbonate modified urea–formaldehyde resin adhesive for strength enhanced medium density fiberboard production. *RSC Advances*, v. 11, n. 40, p. 25010-25017, 2021.
- MOSLEMI, A.; BEHZAD, T.; PIZZI, A. Addition of cellulose nanofibers extracted from rice straw to urea formaldehyde resin; effect on the adhesive characteristics and medium density fiberboard properties. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 99, p. 102582, 2020.

- NABI, G.; KHALID, N. R.; TAHIR, M. B.; RAFIQUE, M.; RIZWAN, M.; HUSSAIN, S.; MAJID, A. A review on novel eco-friendly green approach to synthesis TiO<sub>2</sub> nanoparticles using different extracts. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, v. 28, n. 4, p. 1552-1564, 2018.
- PU, H.; HAN, K.; DAI, R.; SHAN, Z., Semi-liquefied bamboo modified urea-formaldehyde resin to synthesize composite adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 113, p. 103061, 2022.
- RAHEEM, A.A.; ABDULWAHAB, R.; KAREEM, M.A. Incorporation of metakaolin and nanosilica in blended cement mortar and concrete- A review. *Journal of Cleaner Production* v. 290, p. 125852, 2021.
- REN, T.; WANG, Y.; WU, N.; QING, Y.; LI, X.; WU, Y.; LIU, M. Degradation of urea-formaldehyde resin residues by a hydrothermal oxidation method into recyclable small molecular organics. *Journal of Hazardous Materials*, v. 426, p. 127783, 2021.
- RESMI, V.C.; SUNIL K. N. Reduction of free formaldehyde content in resol using urea as scavenger. *International Journal of Engineering Research and Technology*, v. 2, n. 2, p. 2394 - 3386, 2015.
- SALARI, A.; TABARSA, T.; KHAZAEIAN, A.; SARAIEAN, A. Improving some of applied properties of oriented strand board (OSB) made from underutilized low quality paulownia (*Paulownia fortunei*) wood employing nano-SiO<sub>2</sub>. *Industrial Crops and Products*, v. 42, p. 1-9, 2013.
- SINGH, P.; SRIVASTAVA, S.; SINGH, S. K. Nanosilica: recent progress in synthesis, functionalization, biocompatibility, and biomedical applications. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, v. 5, n. 10, p. 4882-4898, 2019.
- SOLT, P.; KONNERTH, J.; GINDL-ALTMUTTER, W.; KANTNER, W.; MOSER, J.; MITTER, R.; KORDKHEILI, H.Y.; PIZZI, A. Lignin-based wood adhesives: A comparison between the influence of soda and Kraft lignin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 121, 03312, 2023.
- TEIXEIRA, B.L.; GUZI, M. E.; PAOLINELLI, S. G.; FALK, G.; NOVAES, O. A. P. Obtaining Biogenic Silica from Sugarcane Bagasse and Leaf Ash. *Waste Biomass Valorization*, v. 12, p. 205–3221, 2021.
- VAN HERWIJNEN, H. W. Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 94, p. 99-131, 2019.
- WANG, Z.; GU, Z.; HONG, Y.; CHENG, L.; LI, Z. Bonding strength and water resistance of starch-based wood adhesive improved by silica nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, v. 86, n. 1, p. 72-76, 2011.

- YADAV, M.; DWIBEDI, V.; SHARMA, S.; GEORGE, N. Biogenic silica nanoparticles from agro-waste: Properties, mechanism of extraction and applications in environmental sustainability. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 10, p. 108550, 2022.
- ZHANG, J.; SONG, F.; TAO, J.; ZHANG, Z.; SHI, S.Q. Research progress on formaldehyde emission of wood-based panel. *International Journal of Polymer Science*, v. 2018, n. 5, 9349721, 2018.

# CAPÍTULO XV

## EMISSÃO DE FORMALDEÍDO EM PAINÉIS AGLOMERADOS: CONSEQUÊNCIAS PARA O MEIO AMBIENTE E A QUALIDADE DO AR

### FORMALDEHYDE EMISSIONS FROM PARTICLEBOARD PANELS: CONSEQUENCES FOR THE ENVIRONMENT AND AIR QUALITY

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-15

Ana Carolina Corrêa Furtini <sup>1</sup>  
Flávia Maria Silva Brito <sup>2</sup>  
Rosalvo Maciel Guimarães <sup>3</sup>  
Lourival Marin Mendes <sup>4</sup>  
José Benedito Guimarães Júnior <sup>5</sup>

1 Doutora em Engenharia de Biomateriais - Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras -MG, Brasil, Professora substituta CEFET-Curvelo.

2 Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Brasil.

3 Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Piauí, UFPI, Bom Jesus, PI Brasil.

4,5 Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Lavras -MG, Brasil.

#### RESUMO

Os painéis aglomerados que abastecem moveleiras e construção civil, tem sido alvo de preocupações em função da emissão de formaldeído, que influencia de forma negativa o meio ambiente e pode prejudicar a qualidade do ar, em ambientes interiores. Este capítulo aborda aspectos relevantes relacionados ao uso deste adesivo. São discutidas as implicações para a saúde humana. A Organização Mundial da Saúde por exemplo, estabeleceu o valor de referência interna de exposição ao formaldeído com ênfase nos efeitos tóxicos e potencialmente carcinogênicos da exposição prolongada. Por fim, destaca-se a importância de desenvolver soluções sustentáveis, sem comprometer as propriedades de desempenho dos adesivos e que possam aliar desempenho técnico, redução das emissões e promoção da saúde e do bem-estar das pessoas.

**Palavras-chave:** Painéis de madeira reconstituída. Qualidade do ar interno. Emissões de compostos orgânicos voláteis. Sustentabilidade ambiental.

#### ABSTRACT

Particleboard panels used in furniture and construction have been a source of concern due to their formaldehyde emissions, which have a negative impact on the environment and can harm indoor air quality. This chapter addresses relevant aspects related to the use of this adhesive. The implications for human health are discussed. For example, the World Health Organization has established an internal reference value for formaldehyde exposure, with an emphasis on the toxic and potentially carcinogenic effects of prolonged exposure. Finally, the importance of developing sustainable solutions that do not compromise the performance properties of adhesives and that can combine technical performance, reduce emissions, and promote people's health and well-being is highlighted.

**Keywords:** Reconstituted wood panels. Indoor air quality. Emissions of volatile organic compounds. Environmental sustainability.



## 1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de painéis à base de madeira alcança, anualmente, cerca de 402 milhões de metros cúbicos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, 2023). Dentre os diversos tipos, os painéis de partículas de média densidade (MDP) destacam-se por seu amplo uso em diferentes aplicações. Para suprir essa demanda, estima-se a fabricação de aproximadamente 100 milhões de metros cúbicos de painéis aglomerados e MDP por ano (BOUSSETTA *et al.*, 2022; HIDAYAT *et al.*, 2022; PEŹDZIK *et al.*, 2021). Estes painéis são empregados em móveis, pisos, confecções de divisórias, portas e placas de teto (AHMAD *et al.*, 2022). O Brasil foi responsável pela produção de 8,1 milhões de m<sup>3</sup> de painéis MDP, em 2023, ocupando a 9ª posição no ranking mundial e se consolidando como um dos principais produtores mundiais (INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES - IBÁ, 2024).

Para fabricação do MDP normalmente utiliza-se o adesivo ureia-formaldeído (UF) (OWODUNNI *et al.*, 2020), em função de suas vantagens tais como, baixo custo, incolor, tempo de cura rápido (Liu *et al.*, 2018; DAZMIRI *et al.*, 2019). A principal desvantagem é a emissão de formaldeído nos painéis de partículas, especialmente em temperaturas mais elevadas, além da baixa durabilidade ou resistência dos painéis sob a influência da umidade ou da água (DORIEH *et al.*, 2022).

A emissão de formaldeído representa um desafio significativo, em função da sua elevada toxicidade e aos impactos adversos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. A exposição a esse composto pode causar diversos efeitos nocivos, incluindo sintomas respiratórios alérgicos e não alérgicos, irritações nas mucosas e, em casos de exposição prolongada, aumento do risco de desenvolvimento de câncer. Esses fatores contribuem para um crescente acúmulo de riscos à saúde em escala global (BARBU *et al.*, 2017).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PAINÉIS DO TIPO (MDP - MEDIUM DENSITY PARTICLEBOARD)

No início da década de 1940, na Alemanha, surgiam os painéis de partículas aglomeradas, durante a Segunda Guerra Mundial, conforme Iwakiri e Trianoski (2020) havia uma escassez de madeira de boa qualidade utilizada na fabricação de painéis compensados.

Diante dessa limitação, os resíduos começaram a ser aproveitados como matéria-prima alternativa, para suprir a demanda por painéis que estava aumentando no País. Os painéis aglomerados são classificados como compósitos naturais, pois resultam da união de partículas lignocelulósicas com adesivos sintéticos, geralmente a base de ureia-formaldeído (UF). O colchão de partículas encoladas é prensado a quente, sob ação de calor e pressão (OKTAY *et al.*, 2021).

No Brasil, a primeira fábrica de painéis aglomerados foi instalada na década de 60, denominada Placas do Paraná S.A, sediada em Curitiba-PR (IWAKIRI, 2013). Estes painéis eram utilizados na construção civil e como matéria prima na fabricação de moveis em função do seu baixo custo em relação à madeira maciça, uma vez que na produção dos aglomerados eram utilizados resíduos, serragem ou aparas de madeira (OWODUNNI *et al.*, 2020). Entretanto, naquela época questionava-se as suas limitações técnicas, como alta absorção de água, fixação de parafusos, inchamento em espessura e usinagem das bordas (MELO, 2009).

Entre os anos de 2005 e 2006, ocorreu a substituição gradativa dos painéis aglomerados pelo MDP (*Medium Density Particleboard*), ou painel de partículas de média densidade (MENDOZA, 2010), nas empresas brasileiras. Este novo painel que começou a ganhar espaço no mercado é considerado uma evolução dos aglomerados, sendo definido como um painel multicamadas (Figura 1), de modo que as duas camadas externas são compostas por partículas do tipo “*sliver*” menores, enquanto a camada central é composta por partículas “*sliver*” maiores. As acamadas influenciam na qualidade do produto final, por isso são de extrema relevância. Além disso, partículas menores nas faces garantem um aspecto visual atraente (VELOSO *et al.*, 2020).

A demanda por painéis MDP vem aumentando substancialmente em nível global. A produção mundial destes painéis alcançou aproximadamente 131 milhões de metros cúbicos em 2020 (FAO STATISTICAL, 2021). O Brasil se destaca como um dos principais produtores de painéis de madeira reconstituída. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ, 2022), o volume total de produção desses painéis aumentou 13% em 2021 em relação a 2020, atingindo 9,3 milhões de metros cúbicos. Além disso, as estatísticas indicam um crescimento de 14% nas vendas anuais de painéis MDP, totalizando 3,2 milhões de metros cúbicos (WOOD BASED PANELS INTERNATIONAL - WBPI, 2022).

Figura 1 – Medium Density Particleboard com três camadas.



Fonte: Club ArqExpress (2024).

Dessa forma, a indústria de painéis MDP é uma das maiores do setor de compósitos à base de madeira em nível global (SULAIMAN *et al.*, 2018). Esse destaque pode ser explicado em função da ampla aplicação desses painéis, especialmente na fabricação de móveis residenciais e corporativos, além de divisórias, portas, prateleiras, armários, placas de teto, etc. São frequentemente revestidos com laminados decorativos que reproduzem a aparência de madeira natural, sendo empregados como revestimentos de pisos e paredes em projetos da construção civil (JIMENEZ JÚNIOR *et al.*, 2022; AHMAD *et al.*, 2022).

## 2.2. ADESIVOS PARA MADEIRA

Os primeiros adesivos utilizados tinham origem natural, sendo compostos por materiais como lama e argila; posteriormente, passaram a incluir substâncias como ceras, resinas, proteínas do sangue, ovos, caseína, peles fervidas e ossos (IWAKIRI e TRIANOSKI, 2020). A partir de meados do século XX, os adesivos sintéticos passaram a ser amplamente utilizados, superando os de origem biológica em função das suas propriedades melhoradas, conferindo melhor desempenho na colagem, facilidade de aplicação e custo mais acessível (HEMMILÄ *et al.*, 2017).

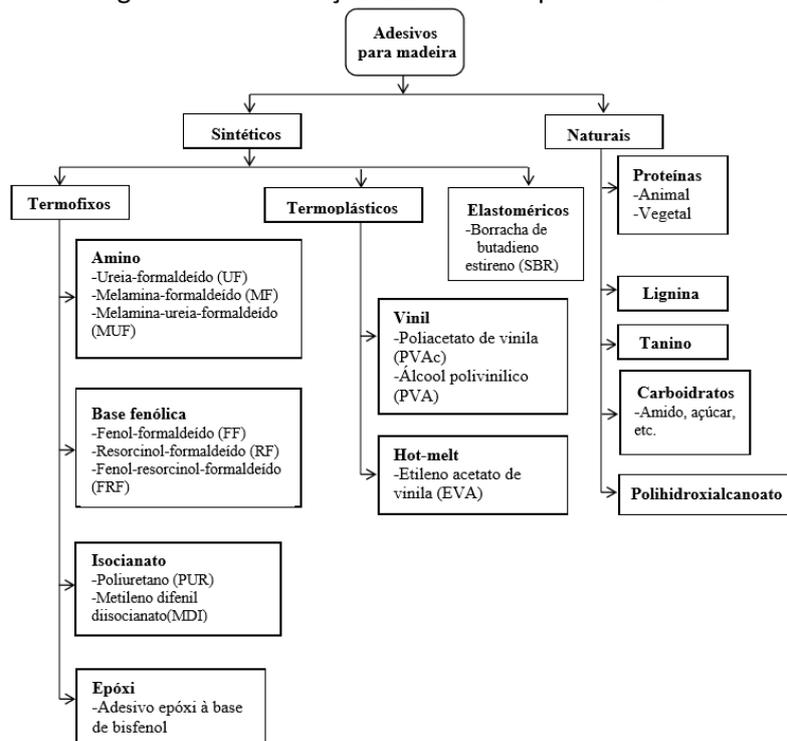
As ligações adesivas desempenham um papel fundamental na eficiência da colagem e na qualidade final dos produtos à base de madeira (TRAN *et al.*, 2020). A compreensão do processo de colagem da madeira exige o entendimento de três conceitos fundamentais: adesivo, aderente e adesão. O adesivo é a substância com capacidade aderente, ou seja, capaz de unir outros materiais em sua superfície. O aderente é o sólido (madeira) que receberá o adesivo, e a adesão é o fenômeno físico-químico que estabelece a ligação entre superfícies

sólidas (IWAKIRI e TRIANOSKI, 2020). Este processo de colagem citado é amplamente utilizado na fabricação de painéis de madeira (BIANCHE *et al.*, 2022).

Os adesivos podem ser classificados em duas categorias principais: sintéticos e naturais. Os adesivos sintéticos incluem os termofixos, termoplásticos e elastoméricos, sendo amplamente utilizados devido à sua estabilidade e desempenho. Já os adesivos naturais ou de base biológica são derivados de quatro fontes principais: lignina, proteínas, amido e taninos (KUMAR e LEGGATE, 2022), representando alternativas mais sustentáveis ao uso de materiais petroquímicos. A Figura 2 mostra a classificação dos adesivos para madeira e suas subclassificações.

Hoje em dia, os adesivos mais utilizados nas indústrias de painéis de madeiras são adesivos termofixos à base de formaldeído derivados de petróleo, como a uréia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF), melamina-uréia-formaldeído (MUF) e resorcinol formaldeído (RF), devido à sua excelente força de adesão e aplicabilidade tecnológica (LIU *et al.*, 2018; BOUSSETA *et al.*, 2022). Embora os adesivos à base de formaldeído tenham várias vantagens sobre aqueles de base natural, eles tendem a liberar compostos orgânicos voláteis, tais como a emissão de formaldeído, que é um gás cancerígeno resultando em danos significativos para o homem e meio ambiente (RADABUTRA *et al.*, 2022; SULAIMAN *et al.*, 2018).

Figura 2 – Classificação dos adesivos para madeira.



Fonte: Adaptado de Kumar e Leggate (2022), citado por Furtini (2024).

### 2.2.1. Ureia-formaldeído

O adesivo ureia-formaldeído (UF) é um polímero sintético classificado como termoendurecível, desenvolvido na década de 1930, e obtido por meio da reação de condensação entre ureia e formaldeído (PEREIRA *et al.*, 2019; IWAKIRI e TRIANOSKI, 2020). Este adesivo é amplamente utilizado, representando cerca de 90% da produção global de painéis aglomerados (KHANJANZADEH *et al.*, 2019). Devido à sua extensa aplicação, o mercado global de adesivo UF foi estimado em aproximadamente 12,3 milhões de toneladas em 2020, com projeções de crescimento anual superior a 4% entre 2021 e 2026 (MORDOR INTELLIGENCE, 2022).

A ampla utilização do adesivo ureia-formaldeído pode ser atribuída a diversos fatores, como seu baixo custo em comparação com outros adesivos para painéis de madeira, processo de produção simples, incolor, alta reatividade, excelente adesão a materiais lignocelulósicos e cura rápida (PU *et al.*, 2022; REN *et al.*, 2021). No entanto, uma das principais desvantagens é a emissão de formaldeído livre nos painéis, uma vez que a reação entre ureia e formaldeído ocorre de maneira reversível, o que possibilita a liberação de formaldeído tanto a longo prazo (KHANJANZADEH *et al.*, 2019; MOSLEMI *et al.*, 2020) quanto logo após a produção dos painéis (SOLT *et al.*, 2019).

Quando os painéis são expostos a ambientes úmidos ou de alta temperatura, tendem a liberar formaldeído devido à hidrólise da ligação aminoplástica do adesivo. O formaldeído também pode ter origem biogênica, uma vez que é naturalmente presente em organismos vivos e ocorre em diversas plantas e na madeira. Contudo, nestes casos, as concentrações são extremamente baixas e não apresentam efeitos nocivos (SOLT *et al.*, 2019). Além disso, o adesivo ureia-formaldeído possui baixa resistência à água e à umidade, especialmente quando combinado com calor (DORIEH *et al.*, 2022).

### 2.2.2. Emissões de Formaldeído

O formaldeído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), conhecido popularmente como formol, é um gás incolor, estável, inflamável e de odor sufocante, (UNITED STATES, 2019). Em condições de temperatura ambiente, o formaldeído evapora com grande facilidade. Um dos principais desafios é sua inflamabilidade e reatividade, pois ela se combina facilmente com outras substâncias, formando produtos químicos e poluentes (ALVES e ALCIOLE, 2012).

O formaldeído liberado em ambientes interiores pode ocasionar efeitos adversos agudos e crônicos à saúde, incluindo irritação no trato respiratório inferior e nos olhos, intoxicação aguda, alergias dérmicas, asma alérgica, neurotoxicidade, comprometimento da função pulmonar e, em casos extremos de exposição, pode até causar câncer (HUANG *et al.*, 2013; TANG *et al.*, 2009).

Mediante estes riscos, o formaldeído foi reclassificado, em 2004, de “provável cancerígeno humano” para “conhecido cancerígeno humano” (Grupo 1) pela Agência Internacional para Pesquisa sobre o Câncer (IARC, 2004). Para a avaliação foram analisadas algumas informações sobre a relação entre câncer de nasofaringe e leucemia relacionada à exposição ao formaldeído (SALTHAMMER, 2019). Várias diretrizes e regulamentações governamentais foram estipuladas para garantir a qualidade do ar e prevenção de câncer, em relação as emissões de formaldeído de materiais à base de madeira.

Cita-se como exemplo, a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2010), que estabeleceu o valor de referência interna de exposição ao formaldeído de 0,1 mg/m<sup>3</sup> - (0,08 ppm) considerando 30 minutos de exposição. Os limites estabelecidos para os painéis aglomerados no Brasil e Europa são de 0,1 ppm; Estados Unidos 0,09 ppm; Alemanha 0,05 ppm e Japão 0,04–0,03 ppm. Além destes limites, a Nova Zelândia tem seus próprios padrões para classificar as classes de emissão de painéis, assim como, a China e Rússia que adotou seus próprios níveis para móveis, sendo o russo o limite mais severo de formaldeído no mundo 0,01 ppm (BOLOGNESI 2010; HEMMILÄ, 2019; SOLT *et al.*, 2019).

Os níveis de formaldeído no ar interno dependem significativamente das fontes de emissão e fatores como temperatura, umidade e taxa de renovação do ar no ambiente. Acabamentos de pisos de madeira, produtos à base de madeira, como aglomerados, compensados e painéis de fibra de média densidade, além de papel de parede, tintas e fumaça de cigarro são consideradas as principais fontes de formaldeído em ambientes internos, como residências e instituições educacionais (CAMPAGNOLO *et al.*, 2017). Nesse contexto, uma das abordagens para reduzir a emissão de formaldeído é a diminuição da proporção molar de formaldeído ou a utilização de agentes modificadores naturais, capazes de reagir ou capturar o formaldeído livre presente nos adesivos utilizados nos painéis de madeira (GHANI *et al.*, 2018).

No entanto, uma reticulação mais fraca, pode ser ocasionada pela redução da proporção de formaldeído vindo a comprometer a qualidade da ligação adesiva, reduzindo

sua resistência mecânica e à água (MARUTZKY e PIZZI, 1986). Uma possível solução seria a incorporação de nanomateriais para melhorar as propriedades dos adesivos sintéticos, além de contribuir para a redução da emissão de formaldeído, despertando grande interesse na comunidade científica (VATS *et al.*, 2022). De forma paralela cita-se a demanda por adesivos de base biológica e promotores de adesão, empregando materiais ecologicamente corretos, sem comprometer as propriedades de desempenho dos adesivos (VINETH *et al.*, 2019).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A emissão de formaldeído proveniente dos painéis aglomerados é uma preocupação crescente devido aos seus impactos negativos tanto na saúde humana quanto no meio ambiente. Embora esses materiais sejam amplamente utilizados na indústria de móveis e construção devido às suas propriedades de baixo custo e alta eficiência, a liberação de formaldeído apresenta riscos significativos, incluindo problemas respiratórios, alérgicos e, em casos extremos, câncer.

A compreensão dos fatores que influenciam essa emissão, como temperatura, umidade e características do adesivo utilizado, é fundamental para mitigar os efeitos adversos dessa substância. Alternativas como a utilização de adesivos de base biológica e a incorporação de nanomateriais para reduzir a emissão de formaldeído têm ganhado destaque, oferecendo soluções mais sustentáveis sem comprometer as propriedades do material. É, portanto, crucial que a indústria avance em direção ao desenvolvimento de tecnologias e materiais mais seguros e ecológicos, garantindo um equilíbrio entre desempenho técnico, segurança ambiental e saúde pública.

### REFERÊNCIAS

- ALVES, C. A.; ALCIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. *Química nova*, São Paulo, v. 35, n. 10, p. 2025-2039, 2012.
- AHMAD, N.; YYUNUS N. Y.; MOHAMMAD N. A.; HASSAN, N. H.; MAHMUD, S. Z. The Effect of Density and Resin Content on Oil Palm Trunk Particleboard. *..*, v. 1056, p. 69-74, 2022.
- BARBU, M.C.; REH, R.; IRLE, M. Wood-based composites. In: Aguilera, A., Davim, J.P., (Eds) *Research Developments in Wood Engineering and Technology*. IGI Global: Hershey, Pennsylvania, USA, 2014; p. 1–45, 2014.
- BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; de Andrade, B. G.; Gomes, R. M., de Oliveira Araújo, S.; Souza, E. C. Improving the understanding of wood bonding: behavior of

- different adhesives on the surface of eucalyptus and pine wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 112, p. 102987, 2022.
- BOLOGNESI, L. Quantificação de formaldeído em extrato aquoso obtido da emissão de painéis de madeira por espectrofotometria acoplada à injeção em fluxo. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, 2010.
- BOUSSETTA, A.; ABLOUH, E.; BENHAMOU, A. A.; TAOURIRTE, M.; MOUBARIK, A. Valorization of Moroccan brown seaweeds: Elaboration of formaldehyde-free particleboards based on sodium alginate–corn-starch - Mimosa tannin wood adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 108, p. 102894, 2021.
- CAMPAGNOLO, D.; SARAGA, D.E.; CATTANEO, A.; SPINAZZÈ, A.; MANDIN, C.; MABILIA, R.; PERRECA, E.; SAKELLARIS, I.; CANHA, N.; MIHUCZ, V.G; SZIGETI, T. VOCs and aldehydes source identification in European office buildings – the OFFICAIR study. *Building and Environment*, v. 115, p. 18-24, 2017.
- CLUB ARQEXPRESS. Qual a diferença entre MDF e MDP?. Disponível em: <<https://clubarqexpress.com.br/blogs/clubarqexpress/voce-sabe-qual-a-diferenca-entre-o-mdf-e-o-mdp>> Acesso em: 05 maio. 2025.
- DAZMIRI, M. K.; KIAMAHALLEH, M. V.; DORIEH, A.; PIZZI, A. Effect of the initial F/U molar ratio in urea-formaldehyde resins synthesis and its influence on the performance of medium density fiberboard bonded with them. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 95, p. 102440, 2019.
- DORIEH, A.; SELAKJANI, P.P.; SHAHAVI, M.H.; PIZZI, A.; MOVAHED, S.G.; POUR, M.F.; AGHAEI, R. Recent developments in the performance of micro/nanoparticle-modified urea-formaldehyde resins used as wood-based composite binders: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 114, p. 103106, 2022.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO Statistical Yearbook. World Food and Agriculture. 2021. Disponível em: < <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210010474> > Acesso em: 18 jun. 2022. FAO Statistical, 2021.
- GHANI, A.; ASHAARI, Z.; BAWON, P.; LEE, S. H. Reducing formaldehyde emission of urea formaldehyde-bonded particleboard by addition of amines as formaldehyde scavenger. *Building and Environment*, v. 142, p. 188-194, 2018.
- HEMMILÄ, V. Towards low-emitting and sustainable particle- and fibreboards – Formaldehyde emission test methods and adhesives from biorefinery lignins. 2019. Tese (Doutorado) Forestry and Wood Technology, Linnaeus University, 2019.
- HIDAYAT, W.; APRILLIANA, N.; ASMARA, S.; BAKRI, S.; HIDAYATI, S.; BANUWA, I.S.; LUBIS, M.A.R.; ISWANTO, A.H. Performance of eco-friendly particleboard from agro-industrial

- residues bonded with formaldehyde-free natural rubber latex adhesive for interior applications. *Polymer Composites*, v. 43, n. 4, p. 2222-2233, 2022.
- HUANG, L.; MO, J.; SUNDELL, J.; FAN, Z.; ZHANG, Y. Health risk assessment of inhalation exposure to formaldehyde and benzene in newly remodeled buildings, Beijing. *PLoS One*, v. 8, n. 11, p. 79553, 2013.
- IARC - International Agency for Research on Cancer. Press Release No.153: IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans. Lyon, 2004. Disponível em: <<https://www.iarc.who.int/pageroot/PRELEASES/pr153a.html>>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba. FUPEF, 2020. 247p.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Estatística da indústria brasileira de árvores. Disponível em: <[https://iba.org/datafiles/publicacoes/cenarios/70cenarios\\_2.pdf](https://iba.org/datafiles/publicacoes/cenarios/70cenarios_2.pdf)> Acesso em: 18 ago. 2022.
- JIMENEZ JR, J. P.; ACDA, M. N.; RAZAL, R. A.; ABASOLO, W. P.; HERNANDEZ, H. P.; ELEPAÑO, A. R. Influence of mixing waste tobacco stalks and paper mulberry wood chips on the physico-mechanical properties, formaldehyde emission, and termite resistance of particleboard. *Industrial Crops and Products*, v. 187, p. 115483, 2022.
- KHANJANZADEH, H.; BEHROOZ, R.; BAHRAMIFAR, N.; PINKL, S.; GINDL-ALTMUTTER W. Application of surface chemical functionalized cellulose nanocrystals to improve the performance of UF adhesives used in wood based composites-MDF type. *Carbohydrate Polymers*, v. 206, p. 11-20, 2019
- KUMAR, C.; LEGGATE, W. An overview of bio-adhesives for engineered wood products. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, p.103187. 2022.
- LIU, M.; WANG, Y.; WU, Y.; HE, Z.; WAN, H. "Greener" adhesives composed of urea-formaldehyde resin and cottonseed meal for wood-based composites. *Journal of cleaner Production*, v. 187, p. 361–371, 2018.
- MARUTZKY, R. Release of formaldehyde by wood products. *Wood Adhesives Chemistry and Technology*. Virginia: Taylor & Francis, v. 2, p. 307-388, 1989.
- MELO, R. R. Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioração de chapas aglomeradas construídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz. 2009, 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- MENDOZA, Z. M. S. H. Efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados fabricados com resíduos da indústria laminadora. 2010. 128 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2010.

- MORDOR INTELLIGENCE. Mercado resinas de uréia formaldeído crescimento, tendências, impacto covid-19 e previsões (2022-2027). Disponível em: < <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/urea-formaldehyde-market> > Acesso em: 18 ago. 2020.
- MOSLEMI, A.; BEHZAD, T.; PIZZI, A. Addition of cellulose nanofibers extracted from rice straw to urea formaldehyde resin; effect on the adhesive characteristics and medium density fiberboard properties. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 99, p. 102582, 2020.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Diretrizes da OMS para a Qualidade do Ar Interior: Poluentes Seleccionados. Escritório Regional da OMS para a Europa, Copenhaga, 2010.
- OKTAY, S.; KIZILCAN, N.; BENGU, B. Oxidized cornstarch – Urea wood adhesive for interior particleboard production. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 110, p. 102947, 2021.
- OWODUNNI, A. A.; LAMAMING, J.; HASHIM, R.; TAIWO, O. F. A.; HUSSIN, M. H.; MOHAMAD KASSIM, M. H.; BUSTAMI, Y.; SULAIMAN, O.; AMINI, M. H. M.; HIZIROGLU, S. Adhesive application on particleboard from natural fibers: A review. *Polymer Composites*, v. 41, n. 11, p. 4448-4460, 2020.
- PĘDZIK, M.; JANISZEWSKA, D.; ROGOZIŃSKI, T. Alternative lignocellulosic raw materials in particleboard production: A review. *Industrial Crops and Products*, v. 174, p. 114162, 2021.
- PEREIRA, P., ALMEIDA, M., PEREIRA, J., PAIVA, N.T., FERRA, J.M., MARTINS, J., CARVALHO, L. AND MAGALHÃES, F.D. Improvement of storage stability of UF resins by adding caprolactam. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 92, p. 105-110, 2019.
- PU, H.; HAN, K.; DAI, R.; SHAN, Z., Semi-liquefied bamboo modified urea-formaldehyde resin to synthesize composite adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 113, p. 103061, 2022.
- RADABUTRA, S.; KHEMTHONG, P.; SAENG SUWAN, S.; CHANTHADAND, C.; PONYUT, N.; PIJARN, N. Preparation and characterization of wood-to-wood bonding adhesive by glycidyl methacrylate grafting natural rubber. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 114, p. 103093, 2022.
- REN, T.; WANG, Y.; WU, N.; QING, Y.; LI, X.; WU, Y.; LIU, M. Degradation of urea-formaldehyde resin residues by a hydrothermal oxidation method into recyclable small molecular organics. *Journal of Hazardous Materials*, v. 426, p. 127783, 2021.
- SULAIMAN, N. S.; HASHIM, R.; SULAIMAN, O.; NASIR, M.; AMINI, M. H. M.; HIZIROGLU, S. Partial replacement of urea-formaldehyde with modified oil palm starch based adhesive to fabricate particleboard. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 84, p. 1-8, 2018.

- SOLT, P.; KONNERTH, J.; GINDL-ALTMUTTER, W.; KANTNER, W.; MOSER, J.; MITTER, R.; VAN HERWIJNEN, H. W. Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 94, p. 99-131, 2019.
- SALTHAMMER, T. Formaldehyde sources, formaldehyde concentrations and air exchange rates in European housings. *Building and Environment*, v. 150, p. 219-232, 2019.
- TANG, X.; BAI, Y.; DUONG, A.; SMITH, M.T.; LI, L.; ZHANG, L. Formaldehyde in China: production, consumption, exposure levels, and health effects. *Environment International*, v. 35, n. 8, p. 1210-1224, 2009.
- UNITED STATES. Environmental Protection Agency. Facts about Formaldehyde. Washington, DC: Environmental Protection Agency, 2019.
- VELOSO, M. C. R. A.; PIRES, M. R.; VILLELA, L. S.; SCATOLINO, M. V.; PAULA PROTÁSIO, T.; MENDES, L. M; JÚNIOR, J. B. G. Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. *Waste Management*, v. 118, p. 36-44, 2020.
- VATS, S.; KUMAWAT, S.; BRAR, J.; KAUR, S.; YADAV, K.; MAGAR, S. G.; JADHAV, P. V.; SALVI, P.; SONAH, H.; SHARMA, S.; DESHMUKH, R. Opportunity and challenges for nanotechnology application for genome editing in plants. *Plant Nano Biology*, v.1, p. 100001, 2022.
- VINEETH, S. K.; GADHAVE, R. V.; GADEKAR, P. T. Chemical modification of nanocellulose in wood adhesive. *Open Journal of Polymer Chemical*, v. 9, n. 4, p. 86, 2019.
- WOOD BASED PANELS INTERNATIONAL - WBPI. Dexco records best-ever performance. Disponível em: < <https://www.wbpionline.com/news/dexco-records-best-ever-performance-9479102/>> Acesso em: 02 out. 2022.

# CAPÍTULO XVI

## ADESIVOS SINTÉTICOS PARA COLAGEM DE MADEIRA E SEUS DERIVADOS

### SYNTHETIC ADHESIVES FOR GLUING WOOD AND ITS DERIVATIVES

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-16

Flávia Maria Silva Brito <sup>1</sup>

Glaucileide Ferreira <sup>2</sup>

Rodolpho Stephan Santos Braga <sup>2</sup>

Nédia Pereira Correia Mendes Correia <sup>2</sup>

Ana Carolina Corrêa Furtini <sup>3</sup>

Juarez Benigno Paes <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

<sup>2</sup> Doutorandos do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

<sup>3</sup> Professora Substituta do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET

<sup>4</sup> Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

### RESUMO

Os adesivos sintéticos são utilizados na colagem de produtos engenheirados de base florestal, como na fabricação de painéis, móveis e compósitos. Oferecem alta resistência mecânica e durabilidade. A escolha correta depende das condições de uso e das propriedades desejadas na colagem. Para aplicações internas, e não estruturais, como móveis, a ureia-formaldeído -UF oferece característica necessárias. Já para ambientes externos, onde exige-se uma resistência maior a umidade, indica-se a utilização de adesivos mais adequados como melamina-ureia-formaldeído – MUF, fenol-formaldeído - FF e resorcinol-formaldeído - RF. O objetivo dessa revisão é abordar os mecanismos de adesão e adesivos e os principais tipos utilizados nas indústrias madeireiras.

**Palavras-chave:** Adesão. Ureia-formaldeído. Melamina-ureia-formaldeído. Fenol formaldeído. Resorcinol formaldeído.

### ABSTRACT

Synthetic adhesives are used to bond engineered forest-based products, such as panels, furniture and composites. They offer high mechanical strength and durability. The correct choice depends on the conditions of use and the desired bonding properties. For indoor, non-structural applications, such as furniture, Urea-formaldehyde - UF offers necessary features. For outdoor environments, where greater strength is required, the use of adhesives that are more resistant to moisture, such as Melamine-urea-formaldehyde - MUF, phenol-formaldehyde - PF and Resorcinol-formaldehyde – RF are more suitable. The objective of this review is to address the adhesion mechanisms and adhesives and the main types of adhesives used in timber industries.

**Keywords:** Adhesion. Urea-formaldehyde. Melamine-urea-formaldehyde. Phenol-formaldehyde. Resorcinol-formaldehyde.

## 1. INTRODUÇÃO

A colagem de madeira e produtos derivados é uma das tecnologias mais importante na indústria de produtos de base florestal, como na fabricação de painéis, móveis e compósitos de engenharia. É interessante utilizar adesivos que garantem desempenho mecânico, com baixo impacto ambiental, o que tem impulsionado o desenvolvimento e a diversificação da indústria madeireira.

Este capítulo aborda informações relevantes sobre a tecnologia de adesivos para madeira e seus derivados, definindo conceitos sobre as teorias de adesão (mecânica, química e física) dos adesivos empregados para colagem (sintéticos e naturais), suas propriedades, vantagens, desvantagens e áreas de aplicação, além de bioadesivos, que são tendência crescente em resposta às exigências ambientais e normativas, que atualmente tem se tornado uma grande vertente de pesquisas, em Instituições no Brasil e no exterior. É importante destacar de que forma a umidade presente na madeira, parâmetros de prensagem (temperatura de cura e a pressão aplicada) utilizados na produção de painéis e a compatibilidade química entre adesivo e substrato afetam a qualidade da colagem.

O objetivo desse trabalho é discorrer sobre adesivos para a indústria madeireira, contemplando suas propriedades, desempenho e alguns exemplos de adesivos sintéticos mais utilizados nas indústrias.

## 2. ADESIVOS E ADESÃO

A colagem de madeira com adesivo é um método amplamente utilizado na produção de estruturas de madeira, como móveis, pisos, madeira lamelada colada (MLC), além de painéis. De fato, a colagem é importante para os produtos de madeira modernos (TRAN *et al.*, 2024).

A função de um adesivo é gerar uma aderência entre dois substratos, fluindo e preenchendo espaços vazios, de forma que ocorra uma interação e aproximação destes substratos (BIANCHE *et al.*, 2017). Os adesivos possuem ampla aplicação desde áreas aeroespacial, dispositivos eletrônicos, arquiteturas, móveis e indústrias de embalagens (BAKARE *et al.*, 2014). Os primeiros adesivos utilizados para a indústria madeireira foram produzidos a partir de recursos naturais como colágeno, sangue, caseína, peixe, amido e outros derivados nos séculos XIX e XX (GADHAVE *et al.*, 2017). Com o decorrer do tempo houve um aumento na procura, após o surgimento das máquinas de beneficiamento de madeira e

início da produção de painéis compensados. Com isto, houve um progresso gradativo com o desenvolvimento da química de materiais na produção e aperfeiçoamento de novos adesivos para madeira, originando os adesivos sintéticos (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos sintéticos mais utilizados são à base de formaldeído, como uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e resinas de melamina-formaldeído (FARIS *et al.*, 2016). Os principais componentes em uma ligação adesiva são adesivos, adesão e aderentes. Industrialmente, os adesivos têm sido utilizados para produzir uma gama de produtos de madeira de alto valor, como vigas laminadas, compensados, painel de partículas de madeira orientadas (OSB), painéis partículas de média (MDP) e de alta (HDP) densidades e de fibras, que podem ser de média (MDF) ou alta (HDF) densidades (SINGH *et al.*, 2008). Uma das vantagens do uso de adesivos em relação a métodos mecânicos, como pregos, rebites e parafusos, é que o adesivo dispensa a necessidade de se fazer furos no material a ser unido, evitando a concentração de tensões, que pode causar uma diminuição de suas propriedades físicas e mecânicas (POCIUS, 2002).

Para finalidades estruturais, a Norma Brasileira - NBR 7190, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2022), determina que o adesivo seja à prova d'água, contudo, deve-se levar em consideração o meio em que as peças coladas serão utilizadas, ou seja, temperatura e teor de umidade. A qualidade da colagem é verificada pela linha de cola, a qual serve para predizer o desempenho do adesivo, quando submetido à aplicação de esforços. Isso varia desde as propriedades do adesivo utilizado até a característica da madeira, o que irá conferir um produto de qualidade (MENDONZA *et al.*, 2017).

A adesão (fenômeno interfacial ou energia de separação de dois substratos) entre a madeira e o adesivo depende de uma série de fatores como, as características inerentes à própria madeira, ao adesivo (químicas e físicas) e do processo adotado durante a colagem (ALBINO *et al.*, 2010).

Os gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* produzem madeiras que apresentam poros de pequenos diâmetros, podem conter tiloses nos vasos, que dificultam a penetração do adesivo (SANTIAGO *et al.*, 2018). A densidade pode restringir a penetração do adesivo, em função da espessura da parede celular e lúmen menor, resultando em linha de cola frágil. Por outro lado, madeiras com baixa densidade, por apresentarem maior porosidade, podem proporcionar uma linha de cola faminta (contendo pouco adesivo), a qual não fornece boas condições de colagem (MARRA, 1992). A densidade elevada da madeira, de algumas espécies é outro fator

a ser observado, pois estas não correspondem bem à colagem, pela sua baixa porosidade, considerando ainda o alto teor de extrativos e sua instabilidade dimensional (SANTIAGO *et al.*, 2018).

Algumas propriedades físicas e químicas dos adesivos influenciam o processo de colagem, como viscosidade, teor de substâncias sólidas, pH, tempo de trabalho e tempo de formação de gel (ALMEIDA *et al.*, 2010). Iwakiri *et al.* (2013) descrevem as seguintes propriedades:

**Teor de sólidos:** indica o percentual de sólidos que estão contidos no adesivo que é constituído por componentes sólidos e líquidos, em que os líquidos são volatilizados durante a etapa da prensagem a quente, contribuindo para o processo de cura e solidificação da resina.

**Viscosidade:** pode ser conceituada pela resistência ao fluxo livre entre as camadas de uma matéria ou, ainda, a grandeza que expressa o atrito entre as moléculas de um fluido livre e que se manifesta pelo escoamento. Esta propriedade pode ser influenciada pelo teor de sólidos. A alta viscosidade do adesivo pode dificultar a sua aplicação, impedindo tanto o espalhamento quanto a penetração na estrutura da madeira. Em situação contrária, ou seja, a baixa viscosidade pode ocasionar linha de cola faminta, em função da absorção excessiva pela madeira, principalmente se a madeira for de baixa densidade. Hass *et al.* (2011) citam que a estrutura anatômica da madeira de faia pode levar a linhas de colagem famintas se a viscosidade do adesivo não for ajustada corretamente.

**Tempo de formação de gel ou tempo de gelatinização ("gel time"):** corresponde ao período transcorrido desde o preparo do adesivo até a sua aplicação, incluindo a composição com aditivos. Sua importância, está na vida útil e reatividade do adesivo. E o pH: determinado diretamente por meio de pHmetro, tem importância para madeira e para o adesivo, já que a resina não deve ter limites de pH fora da faixa de 2,5 a 11,0, pois pode resultar na degradação das fibras da madeira, e quando utilizando o pH muito baixo, pode provocar espuma na mistura, prejudicando a colagem. Cada resina tem uma faixa para cura, em meio ácido ou alcalino.

Em relação as características do processo de colagem, alguns fatores devem ser levados em consideração durante o processo de produção como a preparação da superfície, umidade da madeira, tipo de adesivo, quantidade e distribuição do adesivo, tempo, temperatura e pressão.

Para analisar a qualidade de colagem de elementos de MLC, Baz (2024) teve o cuidado de remover detritos e pó gerados durante usinagem das lamelas, montagem e colagem das vigas, para evitar alteração na porosidade, e por consequência alterar o potencial de penetração e ancoragem da cola. Neste sentido, o teor umidade da madeira também é importante, pois afeta a qualidade da junta colada e seu comportamento em uso. Para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, (2000), boa parte dos adesivos utilizados para colagem apresenta bons resultados quando a madeira possui valores de umidade na faixa entre 6 e 17%.

Existem vários tipos de adesivo que podem ser utilizados, conforme a finalidade do produto colado, como o uso externo, interno ou estrutural. Atualmente, os adesivos poliméricos são os mais empregados nas fábricas. O resorcinol-formaldeído tem grande aplicação, em função da sua capacidade de resistir a tensões elevadas, resistência a umidade e variações de temperaturas do ambiente, porém libera formaldeído, um gás incolor com elevado nível de toxicidade, que pode prejudicar saúde humana (CHEN *et al.*, 2021).

O adesivo deve ser distribuído sobre as lâminas de madeira, conforme a proporção adequada sobre a área que será colada, com o objetivo de o adesivo fluir uniformemente durante a prensagem. A aplicação pode ser em uma ou nas duas faces da lâmina. Alguns fatores são considerados para o cálculo da quantidade de adesivo, como a espécie de madeira, qualidade da superfície, teor de umidade, tipo de adesivo, temperatura e umidade do ar, tempo de montagem e se a aplicação foi realizada em lâmina simples ou dupla nas faces das lâminas (FRIHART; HUNT, 2010).

Os parâmetros de prensagem (tempo, temperatura e pressão) são fundamentais para fabricação de painéis, pois o tempo e a temperatura vão influenciar a qualidade do painel e a economia no processo de produção. O intervalo entre o momento em que o colchão é comprimido na prensa até o momento da abertura dos pratos é denominado tempo de prensagem. O tempo adotado deve possibilitar que o excesso de água migre para fora do painel pelas bordas laterais, resultando na cura do adesivo. Enquanto a temperatura de prensagem tem por objetivo favorecer a polimerização e a cura do adesivo, como a plasticização da madeira e, diminuir a resistência da madeira a compressão e dessa forma facilita a consolidação do colchão e o painel chega a uma espessura final (IWAKIRI, 2005).

## 2.1. TIPOS DE ADESIVOS

Os adesivos sintéticos são classificados em termofixos e termoplásticos. Os termoplásticos são adesivos resistentes somente a mudanças físicas, podendo ser modificados pela ação do calor ou solventes, sendo o poliacetato de vinila-cross (PVAc) e “hot melt”, os mais usados para colagem de madeiras (PIZZI; MITTAL, 1994). Bianche *et al.* (2017), explicam que adesivos termofixos são aqueles que endurecem por meio de reações químicas ativadas por temperatura ou catalisadores. Nessa classificação de adesivos, destacam-se o fenol-formaldeído, uréia-formaldeído, resorcinol-formaldeído, melamina-formaldeído e poliuretanos, além dos poliuretanos bi-componentes, que são polímero sintético formado pela reação química de dois componentes (um polioliol e um diisocianato).

### 2.1.1. Uréia-formaldeído

O desenvolvimento da indústria de produtos engenheirados teve grande impulso pelo surgimento dos adesivos sintéticos, sendo empregados inicialmente aqueles à base de formaldeído, cuja utilização atual, ainda representa a grande maioria (MOUBARIK *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2019). Os adesivos de ureia-formaldeído, são classificados como termofixos ou termoendurecedores e caracterizados por serem de baixo custo, fácil manuseio, incolor e por possuírem várias condições de cura, além das ligações eficazes quando não são expostos a ambientes úmidos. Eles são, há décadas, os adesivos mais utilizados na fabricação de painéis de madeira, porém, são provindos de fontes não-renováveis, emitem formaldeído e possuem baixa resistência mecânica e baixa durabilidade em condições de alta umidade (FERREIRA, 2017; LENGOWSKI *et al.*, 2019). O armazenamento de resíduos de painéis aglomerados pode causar impactos ambientais, trazendo o risco de contaminação do solo e a liberação gradual de formaldeído na atmosfera (WANG *et al.*, 2020).

Este adesivo (Figura 1) possui coloração branca leitosa, teor de sólidos entre 64 a 66%, pH entre 7,4 a 9,0, viscosidade entre 400 a 1000 centipoise (cP), temperatura de cura entre 90 a 120 °C e pode ser armazenada por três meses em estado líquido e até por um ano em sua fase em pó. É mais indicado para peças de madeira que são protegidas da umidade, como móveis e peças de uso interior (IWAKIRI, 2005). O fato de estar sujeita à degradação hidrolítica, quando na presença de umidade e, ou ácidos é a principal desvantagem da resina ureia-formaldeído - UF. Essa degradação se deve principalmente à hidrólise do plástico amino e das pontes de metileno (ORMONDROYD, 2015).

Figura 1 – Uréia-formaldeído (Redemite tipo cascamite).



Fonte: <https://www.redelease.com.br/redemite-cola-para-madeira-tipo-cascamite-5-250-kg.html.html>

De acordo com marra (1992), a resina UF tem vantagem em relação ao custo, entretanto, apresenta baixa resistência à umidade, por isto é classificado como de uso interior. Os adesivos a base de UF são versáteis, podem ser formulados para curar em temperatura ambiente (20 °C) ou em temperaturas elevadas na prensa (160 °C), são diluídos com extensores ou fortificados com outros adesivos e utilizados para colagem de vários elementos da madeira, incluindo partículas, fibras, lamelas e sarrafos (PIZZI, 1994; CAMPOS; LAHR, 2004).

Geralmente existem várias formulações para a resina. Cada fabricante disponibiliza uma ficha técnica ou boletim, em que estão especificados os tipos de produtos que devem ser misturados na resina para ocorrer a reação e efetivar o processo de colagem. É comum indicar água e farinha de trigo como extensor. Mendoza *et al.* (2017) comentam que os extensores são substâncias à base de amido e proteína que possuem certa ação adesiva e, quando misturados na composição do adesivo à base de UF, tendem a melhorar as características de viscosidade do adesivo, portanto são essenciais no processo de colagem, além de diminuir o custo do produto.

A UF pode ser formulada para cura a temperatura ambiente, aproximadamente 20 °C, ou cura a quente por prensas, mas assim como outros adesivos que levam formaldeídos, após grande exposição a umidade, ocorre quebras das ligações na resina liberando formaldeído para o ambiente, sendo que esta é uma substância tóxica (CAMPOS; LAHR, 2004).

## 2.1.2. Fenol Formaldeído

As resinas fenólicas são polímeros versáteis, de grande uso na indústria para fabricação de vários produtos. São obtidas em função da policondensação dos compostos petroquímicos

fenol e formaldeído, originando dois tipos principais de resinas são “resol” e “novalac” (PILATO, 2013).

O fenol (Figura 2) é um composto de anel fenil aromático com um grupo hidroxila (ligação simples OH) e sua fórmula molecular é  $C_6H_5OH$ . Os adesivos fenólicos são polímeros termofixos que curam pela reação de formaldeído e fenol em ambientes alcalinos ou ácidos (TALABI, 2020). O adesivo (Figura 2) possui coloração marrom avermelhado, teor de sólidos variando de 48 a 51%, pH entre 11 a 13, viscosidade entre 300 a 600 cP, temperatura necessária para cura varia entre 130 a 150 °C e o período de armazenamento pode ser 4 a 5 meses em temperatura ambiente (IWAKIRI, 2005).

Figura 2 - Fenol-formaldeído.



Fonte: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/Attractive-Price-Phenol-Formaldehyde-Resin-For-1600385021552.html>

A resina Fenol-formaldeído - FF apresenta como característica principal a alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior. É indicada para produção de painéis dos tipos compensado, fibra dura, aglomerado, painéis de camadas homogêneas tipo “waferboard” e OSB (SANTOS, 2016).

### 2.1.3. Melamina-Uréia-Formaldeído

A resina modificada, denominada melamina-uréia-formaldeído (MUF) é empregada na produção de compensado, aglomerado, placa de fibra e piso, em função da sua boa resistência a umidade e excelente durabilidade de cola. Esta resina pode ser sintetizada ao adicionar melamina a resinas de uréia-formaldeído pela semelhança da estrutura molecular, como o grupo amina entre melamina e ureia. Isso geralmente é realizado pois a melamina formaldeído é cara (aproximadamente 2,5 vezes o preço da ureia formaldeído) e, portanto, uma quantidade variável de ureia é adicionada à resina para que um compromisso entre custo e desempenho seja alcançado (ORMONDROYD, 2015). Este adesivo com baixo teor de

melamina evidencia melhor desempenho de painel, como resistência ao calor e à água, e pode reduzir o custo de produção de adesivos devido ao alto custo da melamina (OH, 1999; HSE, 2009).

A resina MUF (Figura 3) forma uma linha de cola quase incolor e é resistente à exposição solar, umidade e hidrólise. As vantagens do adesivo à base de MUF são a resistência a altas temperaturas (fogo) e suas propriedades de penetração e preenchimento (RENZO, 2008). No Brasil, a produção de MUF foi suspensa pela Akzo Nobel, principal fabricante nacional (WIMMER, 2023).

Figura 3 - Melamina-uréia-formaldeído.



Fonte: <https://www.marketresearchintellect.com/es/blog/melamine-urea-formaldehyde-powder-resin-market-driving-innovation-in-adhesives-and-surface-coatings/>

O adesivo MUF é muito comum na produção de vigas de madeira laminada colada. A principal diferença entre o MUF e o poliuretano é a elasticidade e a ductilidade das ligações de cola. Os adesivos à base de formaldeído são geralmente quebradiços. Para colagem de madeira, o módulo de elasticidade da madeira e do adesivo deve ser o mesmo. Dessa forma, maior resistência à fratura pode ser alcançada, pois as tensões de pico não são apenas absorvidas pela madeira, mas também pela linha de cola (LEHRINGER; GABRIEL, 2014). Dessa forma, a resistência da linha de cola é importante para a performance de uma estrutura colada. Algumas pesquisas relatam o desempenho da adesão utilizando diferentes espécies de eucalipto e adesivos como Oliveira *et al.* (2020), Vega *et al.* (2020), Lejavs *et al.* (2022).

#### 2.1.4. Resorcinol-formaldeído

Esse adesivo é um dos mais empregados em elementos estruturais de madeira, resultando em boa ligação com boas propriedades resistência mecânica e à ação do tempo, da umidade e da temperatura. O ponto negativo é o custo que chega a representar 30% do

custo total da madeira laminada colada, tornando esse produto pouco competitivo frente a outros materiais estruturais como o aço e concreto (MELO; CARRASCO, 2004).

## 2.2. AVALIAÇÃO CRÍTICA DO USO DE ADESIVOS SINTÉTICOS

Dentro deste contexto, para colagem de madeiras, os adesivos citados, ou seja, constituídos de ureia, fenol e formaldeído são obtidos por meio de recursos não renováveis e podem prejudicar o meio ambiente e o homem, pois liberam formaldeído. O formaldeído é um gás que possui odor pungente e irritante em temperatura ambiente e é altamente inflamável. Segundo Agência Internacional de Pesquisa Sobre o Câncer - IARC, (2004), ele tem sido utilizado na formulação de adesivo e ligante na produção de papel e celulose, em indústrias de fibras vítreas sintéticas, na produção de plásticos e revestimentos e em acabamento têxtil.

A IARC (2004) reclassificou o formaldeído de “provavelmente cancerígeno para humanos” para “cancerígeno para humanos”. A União Européia, os Estados Unidos, a China e o Japão agora têm legislação que regula os níveis permitidos de emissão de formaldeído de produtos à base de madeira (SALTHAMMER *et al.*, 2010).

Uma solução é o desenvolvimento de adesivos de caráter renovável, como aqueles a base de poliuretano de mamona, taninos, lignosulfonatos e outros a base de óleos e resinas naturais, que possuem baixa toxicidade. O emprego de produtos obtidos de alguma fonte natural que possam colar fibras, partículas, sarrafos ou lâminas de madeira de forma efetiva é alvo de experimentos que estão sendo desenvolvidos em Instituições de pesquisas (PODLENA *et al.*, 2021), porém o número de publicações científicas ainda é baixo, em relação aos adesivos sintéticos. A exemplo de pesquisas citam-se Mo *et al.* (2019); Villanueva *et al.* (2019), Pang *et al.* (2020), Oliveira *et al.* (2020), Suwan *et al.* (2020), Almeida (2021) e Furtini *et al.* (2022).

Ressalta-se ainda que existem desafios no desenvolvimento de alguns bioadesivos, especialmente quanto à resistência à água, o que limita sua aplicação em ambientes úmidos ou em produtos que exigem durabilidade e estabilidade dimensional.

## 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os adesivos sintéticos são empregados na colagem de produtos de madeira, para fabricação de painéis, móveis e componentes de engenharia com alto desempenho mecânico e durabilidade. A qualidade eficiente da adesão dos produtos de madeira (lâminas, sarrafos,

fibras e partículas) confere qualidade, a substratos lignocelulósicos, o que explica sua grande aplicação industrial. No entanto, existem alguns desafios, como por exemplo, aqueles relacionados aos impactos ambientais e à toxicidade de compostos como o formaldeído, presente em muitas formulações.

A busca por alternativas mais sustentáveis tem instigado o desenvolvimento de pesquisas direcionadas à redução das emissões de compostos voláteis e à substituição parcial ou total de componentes petroquímicos por fontes renováveis. Embora os adesivos sintéticos sejam indispensáveis em muitas situações na indústria, seu uso necessita de um equilíbrio entre desempenho técnico, segurança e responsabilidade ambiental. Esses fatores podem favorecer a sustentabilidade e a eficiência ao longo de toda a cadeia produtiva da madeira.

## REFERÊNCIAS

- ALBINO, V.C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. *Scientia Forestalis*, v. 38, n. 87, p. 509-516, 2010.
- ALMEIDA, M. D. C. Desenvolvimento de adesivo “verde” a partir de breu branco (*Protium heptaphyllum*) com potencial para utilização em compósitos. 2021. 81f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- ALMEIDA, N.F.; MORI, F.A.; GOULART, S.L.; MENDES, L.M. Estudo da reatividade de taninos de folhas e cascas de barbatimão *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. *Scientia Forestalis*, v. 38, n. 87, p. 401-408, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-1: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de Dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022.
- BAZ, R. J. Q. Qualidade de colagem de elementos de MLC segundo a ABNT NBR 7190- 6 (2022) considerando dois tratamentos: CCA e termorretificação. 2024. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG, Guaratinguetá, 2024.
- BAKARE, F. O.; SKRIFVAR, M.; ÅKESSON, D.; WANG, Y.; AFSHAR, S. J.; ESMAEILI, N. Synthesis and characterization of bio-based thermosetting resins from lactic acid and glycerol. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 131, n. 40488, 2014.
- BIANCHE, J. J.; TEIXEIRA, A. P. M.; LADEIRA, J. P. S.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O.; LUCIA, R. M. D. Cisalhamento na Linha de Cola de Eucalyptus sp. Colado com Diferentes Adesivos e Diferentes Gramaturas. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 24: e00077114, 2017.
- PIZZI, A. MITTAL, KL. Handbook of adhesive technology. New York: M. Dekker; 1994.

- CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. *Revista Matéria*, v. 9, n. 1, p. 29-40, 2004.
- CHEN, Y. H.; WU, C. H.; CHEN, Y. C. Optimized condition for eco-friendly wood composites manufactured from castor oil-based polyurethane. *Construction and Building Materials*, v. 306, 124789, 2021.
- FARIS, A. H.; RAHIM, A. A.; IBRAHIM, M. N. M.; ALKURDI, A. M.; SHAH, I. Combination of lignin polyol–tannin adhesives and polyethylenimine for the preparation of green water-resistant adhesives. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 133, n. 20, 2016.
- FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: ROSS, R. (Org.). *Wood handbook: wood as an engineering material*. Madison: Forest Products Laboratory, p. 10.1-10.24, 2010. 543p.
- FERREIRA, J. C. Sínteses de adesivos de ureia-formaldeído com adição de lignina kraft e celulose nanocristalina. 2017. 119f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- FURTINI, A.C.C, BRITO, F.M.S., GUIMARÃES JUNIOR, M.; FURTINI, J.A.O, PINTO, L.A.M.; PROTÁSIO, T.P., MENDES, L.M.; GUIMARÃES JUNIOR, J.B. Substitution of urea–formaldehyde by renewable phenolic compound for environmentally appropriate production of particleboards. *Environmental Science Pollution Research*, v. 29, p. 66562–66577, 2022.
- GADHAVE, R. V.; MAHANWAR, P. A.; GADEKAR, P. T. Starch-Based Adhesives for Wood/Wood Composite Bonding: Review. *Open Journal of Polymer Chemistry*, v. 7, n. 2, p. 19–32, 2017.
- HASS, P.; WITTEL, F.K.; MENDOZA, M.; HERRMANN, H.J.; NIEMZ, P. Adhesive penetration in beech wood: Experiments. *Wood Science and Technology*, v. 46, p. 243–256, 2011.
- HSE, C. Y. Development of melamine modified urea formaldehyde resins based on strong acidic pH catalyzed urea formaldehyde polymer. *Forest Products Journal*, v. 59, n. 5, p. 19-24, 2009.
- IEJAVS, J.; ŠĶĒLE, K.; GRANTS, E.; UZULS, A. Bonding performance of wood of fastgrowing tree species eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) and radiata pine (*Pinus radiata* D.Don) with polyvinyl acetate and emulsion polymer isocyanate adhesives. *Agronomy Research*, v. 20, n. 1, p. 174–187, 2022.
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. World Health Organization. *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Man*. Geneva. v. 29, p. 345-389, 2004.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. Apostilas do curso de tecnologia e utilização de madeiras: colagem. São Paulo. 2000.

- IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. 2 ed., Curitiba: FUPEF, 2005, 247p.
- MO, J.; WANG, F.; XU, Z.; FENG, C.; FANG, Y.; TANG, X.; SHEN, X. Characterization and performance of soybean protein modified by tyrosinase. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 92, p. 111–118. 2019.
- LOBO, A. M. Moléculas da vida. Separata de: DIAS, A. R.; RAMOS, J. J. M. (ed.). *Química e sociedade: a presença da química na actividade humana*. Lisboa: Escobar, 1990. p. 49-62.
- LEHRINGER, C.; GABRIEL, J. Review of Recent Research Activities on One-Component PUR-Adhesives for Engineered Wood Products. In: AICHER, S., REINHARDT, H. W., GARRECHT, H. (Org.). *Materials and Joints in Timber Structures*. Dordrecht: Springer, 2014; Volume 9, pp. 405–420.
- LENGOWSKI, E.; BONFATTI JÚNIOR, E. A. Nanocelulose: aplicações na indústria de base florestal. In: SILVA MATOS, R. R. S.; PARRA-SERRANO, L. J. (Org.). *Sustentabilidade de Recursos Florestais 2*. Ponta Grossa: Atena, 2019. v. 2, cap. 18, p. 155-161.
- MOUBARIK, A.; CHARRIER, B.; ALLAL, A.; CHARRIER, F.; PIZZI, A. Development and optimization of a new formaldehyde-free cornstarch and tannin wood adhesive. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 68, n. 2, p. 167-177, 2010.
- MARRA, A. A. *Technology of wood bonding*. New York: V. Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.
- MELO, A. V, MANTILLA CARRASCO, E. V. M. Análise de adesivos em madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. Anais [...]Cuiabá: UFMT, 2004.
- MENDONZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; RIBEIRO, A. S.; FERNANDES, F. B. Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. *Multitemas*, v. 22, n. 51, p. 49-68, 2017.
- OLIVEIRA, P. R.; MAY, M.; PANZERA, T. H.; SCARPA, F.; HIERMAIER, S. Reinforced biobased adhesive for eco-friendly sandwich panels. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 98, 102550. 2020.
- OLIVEIRA, R. G. E.; GONÇALVES, F. G.; Segundinho, P. G. DE A.; OLIVEIRA, J. T. DA S.; PAES, J. B.; CHAVES, I. L. S.; BRITO, A. S. Analysis of glue line and correlations between density and anatomical characteristics of *Eucalyptus grandis* × 84 *Eucalyptus urophylla* glulam. *Maderas. Ciencia y tecnologia*, v. 22, n. 4, p. 495-504, 2020.
- ORMONDROYD, G. A. Adhesives for wood composites. In: ANSELL, M. P. (Org). *Wood Composites*. Cambridge: Woodhead Publishing p. 47–66. 2015.
- OH, Y. S. Effects of recycled fiber addition on highdensity fiberboard for laminated flooring bonded with phenol-formaldehyde resin adhesive. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 15, n. 2, p. 641-645, 2010
- PANG, H.; ZHAO, S.; WANG, Z.; ZHANG, W.; ZHANG, S.; LI, J. Development of soy protein-based adhesive with high water resistance and bonding strength by waterborne epoxy

- crosslinking strategy. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 100, 102600, 2020.
- PILATO, L. Phenolic resins: 100 Years and still going strong. *Reactive and functional polymers*, v. 73, n. 2, p. 270–277, 2013.
- POCIUS, A. V. *Adhesion and Adhesives Technology: An Introduction*. Munich: Hanser, 2002.
- PODLENA, M.; BÖHM, M.; SALONI, D.; VELARDE, G.; SALAS, C. Tuning the Adhesive Properties of Soy Protein Wood Adhesives with Different Coadjutant Polymers, Nanocellulose and Lignin. *Polymers*, v.13, n. 12, 1972, 2021.
- RENZO, R. Painel estrutural de lâmina paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona. 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- SALTHAMMER, T.; MENTESE, S.; MARUTZKY, R. Formaldehyde in the Indoor Environment. *Chemical Reviews*, v. 110, p. 2536–2572, 2010.
- SINGH, A.P.; DAWSON, B.; RICKARD, C.; BOND, J.; SINGH, A. Light, confocal and scanning electron microscopy of wood-adhesive interface. *Microscopy and Analysis*, v. 22, n. 3, p. 5-8, 2008.
- SANTIAGO, S. B.; Gonçalves, F. G.; Lelis, R. C. C.; Segundinho, P. G. A.; Paes, J. B.; Arantes, M. D.C. Colagem de madeira de eucalipto com adesivos naturais. *Matéria*, v. 23, n. 3, 2018.
- SANTOS, L. C. Síntese e caracterização de adesivos lignina-fenol-formaldeído para madeira e derivados. 2016. 43f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.
- SILVA, G. C.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, G. L.; SILVA, B. C.; LOSSANO, W. C. S.; ABREU, H. S. Propriedades de adesivo aplicado em painéis a partir da substituição por lignossulfonato do processo sulfito. *Revista Ciência Florestal*, v. 29, n. 1, p. 322-335, 2019.
- SUWAN, A.; SUKHAWIPAT, N.; UTHAIPAN, N.; SAETUNG, A.; SAETUNG, N. Some properties of experimental particleboard manufactured from waste bamboo using modified recycled palm oil as adhesive. *Progress in Organic Coatings*, v. 149 (14, Part 2): 105899, 2020.
- TALABI, S. I.; Synthesis and Graphitization of Phenolic Resins for Carbon-containing Refractory Applications. 2020. 243f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.
- TRAN, A.; KONNERTH, J.; GINDL-ALTMUTTER, W. Adhesive strength and micromechanics of wood bonded at different moisture contentes. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 132, 103688, 2024.

- VEGA, A.; BAÑO, V.; CARDOSO, A.; MOYA, L. Experimental and numerical evaluation of the structural performance of Uruguayan *Eucalyptus grandis* finger-joint. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 78, p. 923–932, 2020.
- VILLANUEVA, J. G.V., HUERTAS, P. A.S., GALAN, F. S., RUEDA, R. J. E., TRIANA, J. C. B. & RODRIGUEZ, J. P. C. Bio-adhesion evaluation of a chitosan-based bone bio-adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 92, p. 80–88. 2019.
- WANG, N.; ZHAN, H.; ZHUANG, X.; BIN, X.; XIULI, Y.; XINMING, W.; CHUANGZHI, W. Torrefaction of waste wood-based panels: More understanding from the combination of upgrading and denitrogenation properties. *Fuel Processing Technology*, v. 206:106462, 2020.
- WIMMER, P. Produção e avaliação de painéis de madeira lamelada cruzada (clt) confeccionados com madeira de *Allantoma decandra* (Lecythidaceae) utilizando diferentes tecnologias. 2023. 111f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

# CAPÍTULO XVII

## IMPLEMENTAÇÃO DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA USINA DE TRATAMENTO DE MADEIRAS

### IMPLEMENTATION OF A SOLID WASTE MANAGEMENT PLAN IN A WOOD TREATMENT PLANT

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-17

Felipe da Silva Gomes<sup>1</sup>  
Glauceide Ferreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doutorando em Ciências Florestais – Ufes, Mestre em Ciências Florestais – Ufes, Engenheiro Florestal - Ufes, Especialista em Saneamento – Faveni, Pós-graduado em Agroecologia e Sustentabilidade – Ifes, Pós-graduando em Manejo de Recursos Hídricos na Agricultura - Ufes.

<sup>2</sup> Doutoranda em Ciências Florestais – Ufes.

#### RESUMO

Este trabalho aborda a implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS em uma usina, situada em Bom Jesus do Norte/ES. O objetivo é integrar harmonicamente as atividades da unidade ao meio ambiente, seguindo a legislação e promovendo práticas sustentáveis. O método adotado baseia-se na legislação vigente, especialmente a Lei Federal nº 12.305/2010, que estabelece diretrizes para a Gestão de Resíduos Sólidos. O plano categoriza os resíduos conforme a norma NBR 10.004 e prioriza a minimização da produção, reutilização e disposição adequada. Os resultados incluem a regularização ambiental da usina e a implementação efetiva do PGRS. As conclusões apontam para a eficácia do plano na gestão responsável de resíduos sólidos, atendendo não apenas a conformidade regulatória, mas também promovendo conscientização ambiental entre os funcionários. O plano também aborda a importância da educação ambiental contínua e da disposição final adequada dos resíduos, contribuindo para a sustentabilidade da usina. Este estudo revela que a implementação de um PGRS em usinas de tratamento de madeiras não apenas atende às exigências legais, mas também reforça a responsabilidade ambiental, demonstrando a viabilidade de práticas sustentáveis na indústria madeireira.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos sólidos. Sustentabilidade na indústria madeireira. Plano de gerenciamento ambiental. Legislação ambiental. Reciclagem e reaproveitamento de resíduos.

#### ABSTRACT

This work addresses the implementation of a Solid Waste Management Plan at the plant, located in Bom Jesus do Norte/ES. The objective is to harmoniously integrate the unit's activities with the environment, following the legislation and promoting sustainable practices. The adopted method is based on current legislation, especially Federal Law No. 12.305/2010, which establishes guidelines for Solid Waste Management. The plan categorizes the waste according to the NBR 10.004 standard and prioritizes the minimization of production, reuse, and proper disposal. The results include the environmental regularization of the plant and the effective implementation of the PGRS. The conclusions point to the effectiveness of the plan in the responsible management of solid waste, meeting not only regulatory compliance but also promoting environmental awareness among employees. The plan also addresses the importance of continuous environmental education and the proper final disposal of waste, contributing to the sustainability of the plant. This study reveals that the implementation of a PGRS in wood treatment plants not only meets legal requirements but also reinforces environmental responsibility, demonstrating the viability of sustainable practices in the timber industry.

**Keywords:** Keywords: Solid waste management. Sustainability in the timber industry. Environmental management plan. Environmental legislation. Recycling and repurposing of waste.



## 1. INTRODUÇÃO

O setor de transformação de produtos e subprodutos da madeira desempenha um papel crucial na economia brasileira, sendo uma contribuição significativa para sua base econômica. No entanto, esse setor enfrenta desafios, especialmente em relação à gestão dos resíduos sólidos gerados durante o processamento industrial da madeira (COSTA et al, 2020).

O Brasil destaca-se no cenário econômico global por meio do setor de transformação de produtos e subprodutos da madeira, que representa uma das principais bases econômicas do país. Conforme dados do IBGE (2019), o extrativismo vegetal compreende 20,7% da produção primária florestal, enquanto a silvicultura ocupa uma expressiva fatia de 79,3%. No âmbito do manejo de florestas nativas, os produtos madeireiros desempenham um papel significativo, representando 62,1% do mercado nacional e movimentando R\$ 2639,7 milhões em 2018 (IBGE, 2019). Contudo, a partir de 2002, observa-se uma queda na produção do extrativismo vegetal, em contraste com o contínuo crescimento da silvicultura (IBGE, 2019).

O crescimento na produção madeireira resulta em benefícios econômicos e sociais, entretanto, ao mesmo tempo, acarreta desafios ambientais, sobretudo pela inadequada gestão dos resíduos sólidos originados nas operações madeireiras (ROJAS et al., 2020). Entretanto o significativo crescimento de microempresas no setor madeireiro, cuja principal matéria-prima é a madeira, representa um potencial desafio ambiental caso não adote práticas adequadas de manejo, uso consciente de insumos e cumprimento da legislação vigente (PASSINI et al., 2019).

A crescente preocupação com a gestão ambiental e a sustentabilidade nas atividades industriais tem impulsionado a necessidade de desenvolver práticas eficientes de gerenciamento de resíduos sólidos. Dentro desse contexto, este trabalho propõe a implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) em uma usina de tratamento de madeiras localizada em Bom Jesus do Norte/ES.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. O PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O presente roteiro Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS é baseado na Legislação vigente, que estabelece os princípios básicos da minimização da geração de resíduos, identificando e descrevendo as ações relativas ao seu manejo adequado, levando em consideração os aspectos referentes a todas as etapas, compreendidas pela geração,

segregação, acondicionamento, identificação, coleta, transporte interno, armazenamento temporário, tratamento interno, armazenamento externo, coleta e transporte externo, tratamento externo e disposição final devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente.

## **2.2. OBJETIVOS DO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

A implantação deste plano tem como objetivo geral, a gestão adequada dos resíduos sólidos, proveniente da atividade de Unidade de Tratamento de Madeira, de acordo com as diretrizes da Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Este Plano de Gerenciamento de Resíduos da Unidade de Tratamento de Madeira visa estabelecer diretrizes claras e procedimentos eficazes para a gestão adequada de todos os resíduos gerados nas atividades da unidade.

## **2.3. SOBRE O EMPREENDIMENTO**

A Unidade de Tratamento de Madeira - UTM está implantada desde outubro de 2021, com o intuito de processar e agregar valor à madeira de Eucalipto da propriedade, fazendo com que toda a produção de madeira fornecida seja de qualidade, acompanhando desde o plantio até o consumidor final.

Na UTM a madeira, matéria-prima local, passa por um processo físico-químico de autoclavagem, deixando-a pronta para comercialização e construções de cercas, decks, casas e galpões.

A capacidade produtiva é relativa, variando de acordo com a demanda de mercado. Nos meses de abril a agosto de 2022, a produção total (somando-se os meses) foi cerca de 120 m<sup>3</sup> de madeira de eucalipto. A capacidade da autoclave instalada é de 8 m<sup>3</sup> de volume de madeira tratada, sendo que o máximo utilizado até hoje foi o valor respectivo a 29,6% da capacidade.

O produto final é vendido para a região, atendendo a demanda por mourões para cercas, estacas e demais finalidades.

Tendo em vista que a área total do empreendimento compreende cerca de 500 m<sup>2</sup>, sua área distribuída em setor produtivo, depósito de resíduos, área de secagem, armazenamento e escritório, além das estradas de acesso.

Em resumo, o público-alvo do PGRS abrange todas as partes interessadas envolvidas no processo de gerenciamento de resíduos, com o objetivo de garantir que as práticas sejam seguidas, a conformidade seja mantida e os impactos ambientais e de saúde sejam minimizados.

## 2.4. PREMISSAS DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O presente plano propõe que o gerenciamento de resíduos sólidos priorize alternativas que possibilitem o menor impacto ao meio ambiente, conforme a sequência apresentada:

- Minimizar a produção;
- Reutilizar o que for possível;
- Dispor adequadamente.

A minimização da geração de resíduos é a prioridade no gerenciamento, pois ao evitar a formação de resíduos, economiza-se matéria prima, energia e recursos naturais para sua produção. Isso será alcançado através de práticas que visam evitar desperdícios, como o uso eficiente de madeira e insumos durante o processo de tratamento.

Ações para redução da produção de resíduos:

Fator gerador	Proposta
<b>Qualidade da matéria-prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e seleção do material, evitando materiais com nós e com defeitos;</li> <li>• Substituição das espécies com grande incidência de defeitos;</li> </ul>
<b>Tipos de produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investir no desenvolvimento de novos produtos que utilizem os resíduos gerados;</li> </ul>
<b>Qualidade das ferramentas e equipamentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar ferramentas e equipamentos de boa qualidade e mantê-los sempre em bom estado de conservação;</li> <li>• Desenvolver protocolos de afiação e manutenção periódica das ferramentas e equipamentos;</li> <li>• Investir em ferramentas e equipamentos tecnológicos.</li> </ul>
<b>Qualidade da mão-de-obra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazer treinamentos visando aprimoramento dos conhecimentos e habilidades dos funcionários;</li> <li>• Fazer análise de controle de qualidade das equipes;</li> <li>• Fazer um trabalho de incentivo para manter os funcionários motivados.</li> </ul>

A reutilização das aparas de madeira geradas durante o processo de tratamento será priorizada. Essas aparas serão coletadas, armazenadas e processadas para serem vendidas como lenha, minimizando o desperdício e gerando receita adicional.

A reciclagem também é uma alternativa, pois através desse procedimento transforma um resíduo para o qual não havia uso em um novo produto que possa ser utilizado. Dessa forma reduz a pressão sobre os aterros.

Resíduos madeireiros são material com grande potencial de aproveitamento, essa estratégia permite agregar maior valor à produção. Os resíduos como aparas e serragens possuem características físicas que a tornam potenciais formas de valorização dos resíduos, como a utilização para: pequenos objetos de madeira, lenha (produção de energia), briquetagem, cama de animais, diversos usos na agricultura, e outros.

Será implementada uma coleta seletiva interna para separar os resíduos recicláveis, como embalagens, que não podem ser reaproveitados na unidade de tratamento. Plásticos contaminados com óleo combustível ou lubrificante, fracos de produtos químicos etc., serão segregados e dispostos em tambores para posterior entrega a empresa especializada, que por fim dará os destinos adequados aos mesmos, ou seja, **aterro sanitário classe I**.

Os Resíduos Perigosos, como os resíduos de madeira tratada com CCA, serão armazenados em locais apropriados e identificados de acordo com a classificação definida na NBR 10.004 (ABNT, 2004). Toda a troca dos tanques e o recolhimento do CCA é realizado pela empresa fornecedora do insumo.

## 2.5. PÚBLICO-ALVO

O público-alvo principal deste plano são os funcionários envolvidos direta e indiretamente nas atividades e processos da unidade.

Estão envolvidos diretamente 3 colaboradores e aproximadamente 6 pessoas indiretamente. Sendo essas pessoas de envolvimento indireto, responsável pelos contratantes.

Os gestores e funcionários da empresa são os principais responsáveis pela implementação do PGRS. Eles devem ser treinados e orientados sobre as práticas corretas de manejo de resíduos e devem seguir as diretrizes estabelecidas no plano, através de frequentes ações de educação ambiental e um ciclo de treinamentos sobre o processo de tratamento.

O órgão ambiental competente, geralmente uma agência governamental, é o regulador responsável por supervisionar e fiscalizar a conformidade das operações da empresa com as regulamentações ambientais. O PGRS é um documento essencial para a

demonstração de conformidade perante essa entidade. Além do órgão ambiental, outras autoridades regulatórias e de fiscalização podem ter interesse no PGRS.

## 2.6. NORMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

A norma que estabelece a classificação dos resíduos sólidos no Brasil é a NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004). A NBR 10.004, em sua versão mais recente, fornece diretrizes e critérios para a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. A classificação é fundamental para determinar a forma adequada de manejo, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos.

A norma estabelece quatro classes de resíduos sólidos, com base em seus potenciais impactos:

- **CLASSE I – RESÍDUOS PERIGOSOS**

São classificados como resíduos Classe I ou perigosos, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

- **RESÍDUOS CLASSE II**

São resíduos que não se enquadram na classe I e não são inertes. Incluem, por exemplo, resíduos orgânicos, materiais recicláveis e resíduos de construção civil. Esta classe é subdividida em A (não inertes) e B (inertes), dependendo de seu potencial de degradação no meio ambiente.

- **RESÍDUOS CLASSE II A – NÃO INERTES**

São classificados como Classe II A ou resíduos não inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I – Perigosos, ou na Classe III ou II B – Inertes.

Estes resíduos podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

No empreendimento em questão eles se compõem basicamente de restos de alimentos dos funcionários.

Estes resíduos serão coletados em coletores apropriados e enviados para o sistema público de coleta municipal.

- **RESÍDUOS CLASSE II B – INERTES**

São classificados como Classe III ou II B ou resíduos inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos ao teste de solubilização (Norma NBR 10006 – “Solubilização de Resíduos – Procedimento”) não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões definidos na Listagem 8 – “Padrões para o Teste de Solubilização”.

- **RESÍDUOS CLASSE III - Resíduos Inertes:**

São resíduos que não têm propriedades de decomposição, combustão, solubilização ou biodegradação. Exemplos incluem entulho de construção civil e materiais como vidro e cerâmica.

Como exemplo destes materiais pode citar: vidros, certos metais, plásticos, tecidos e borrachas que não são facilmente decompostos.

Esses resíduos serão encaminhados a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis do município para sistema de coleta seletiva.

- **RESÍDUOS CLASSE IV – Radioativos:**

São resíduos que contêm substâncias radioativas e são regulamentados por legislação específica. Esses não são gerados pelo empreendimento.

## 2.7. COLETA E ACONDICIONAMENTO DOS RESÍDUOS

A coleta e o transporte de resíduos serão realizados por prestadores de serviços autorizados, seguindo as normas de segurança e as regulamentações específicas para resíduos perigosos.

Todos os resíduos são acondicionados em recipiente de acordo com sua classificação e depositados em tambores de polietileno rígido devidamente preso dentro do veículo de transporte.

Resíduos perigosos, como os resíduos de madeira tratada com CCA, serão armazenados em locais apropriados e identificados de acordo com a classificação definida na NBR 10.004 (ABNT, 2004).

Os resíduos CLASSE I são ser acondicionados em tambores de polietileno, etiquetados e armazenados sobre estrado de madeira, protegidos de intempéries dentro do veículo de transporte.

## **2.8. TRANSPORTE E DESTINO FINAL**

O transporte ocorre diretamente para a empresa responsável pela destinação, sendo os resíduos classe I, transportados acompanhados da Ficha de Controle de Destinação de Resíduos - FCDR especificando a quantidade e características do resíduo que são preenchidas conforme Resolução CONAMA 6/88 e seguirão com o resíduo para uma empresa devidamente licenciada para esta atividade.

Desta forma, os resíduos que não podem ser reutilizados, reciclados ou tratados na unidade serão destinados à disposição final em um local devidamente licenciado e ambientalmente adequado.

## **2.9. EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

Treinamentos periódicos serão realizados para conscientizar os funcionários sobre a importância do PGRS e promover a adesão às práticas corretas de gerenciamento de resíduos.

Todos os colaboradores da empresa participam de palestras/debates/campanhas visando à conscientização dos mesmos em relação ao procedimento que deverá ser adotado para a efetivação do processo de coleta dos resíduos sólidos que será implantado pelo presente Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS.

Desta forma, todos os funcionários serão treinados sobre as práticas ambientais da unidade e estarão cientes dos impactos de suas ações no meio ambiente.

## **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em conclusão, a implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos na usina revelou-se bem-sucedida, cumprindo os objetivos propostos.

As hipóteses, relacionadas à viabilidade técnica, aceitação pelos colaboradores e impactos positivos na conformidade legal e ambiental, foram confirmadas pela eficácia prática do PGRS.

A categorização eficiente dos resíduos, a conscientização dos funcionários e a avaliação do impacto ambiental positivo destacaram-se como fatores cruciais para o sucesso da iniciativa.

Os resultados obtidos não apenas atendem às exigências legais, mas também reforçam a importância da responsabilidade ambiental na indústria madeireira.

Este estudo, ressalta a necessidade contínua de práticas sustentáveis e conscientes para enfrentar os desafios ambientais, promovendo um equilíbrio entre o desenvolvimento industrial e a preservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004.** Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. D.O.U de 03/08/2010, pág. nº 2. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N 006.** Dispõe da gestão de resíduos e produto perigosos, de 15 de junho de 1988. D.O.U, de 16/11/88, Seção I. Revogada pela Resolução nº 313, de 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=70>

COSTA, Dáfix Dantas et al. Gerenciamento de resíduos sólidos do polo industrial madeireiro de Cruzeiro do Sul, Acre. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade.** Editora Científica Digital, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.** 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2018\\_v33\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2018_v33_informativo.pdf)

PASSINI, Aline Ferrão Custodio et al. **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ESTUDO DE CASO DE UMA SERRARIA.** 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu/PR, 2019.

ROJAS, Luis Quintanar et al. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO PÓLO INDUSTRIAL MADEIREIRO DE CRUZEIRO DO SUL, ACRE. **ENGENHARIA FLORESTAL: DESAFIOS, LIMITES E POTENCIALIDADE**, v. 1, n. 1, p. 425-441, 2020.

# CAPÍTULO XVIII

## TECNOLOGIA VERDE: RESINAS, ÓLEOS E EXTRATOS VEGETAIS COMO ALTERNATIVAS AOS PRODUTOS CONVENCIONAIS PARA PROTEÇÃO DA MADEIRA

### GREEN TECHNOLOGY: RESINS, OILS AND PLANT EXTRACTS AS ALTERNATIVES TO CONVENTIONAL PRODUCTS FOR WOOD PROTECTION

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-18

Railza Wosayme Makaxi<sup>1</sup>

Flávia Maria Silva Brito<sup>2</sup>

Victor Fassina Brocco<sup>3</sup>

Valeska Farias Caxias<sup>4</sup>

Lais Gonçalves da Costa<sup>5</sup>

José Fellip Catique Marinho<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Graduação em Engenharia Florestal. Universidade do Estado do Amazonas – UEA

<sup>2</sup> Pós-doutoranda. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

<sup>3</sup> Professor Adjunto do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara. Universidade do Estado do Amazonas – UEA

<sup>4</sup> Mestranda em Ciência e Tecnologia Para Recursos Amazônicos. Universidade Federal do Amazonas - UFAM

<sup>5</sup> Pesquisadora, Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara. Universidade do Estado do Amazonas – UEA

<sup>6</sup> Mestrando em Engenharia Florestal. Universidade do Estado de Santa Catarina - CAV/UDESC

#### RESUMO

A madeira é um material heterogêneo, orgânico e complexo utilizado desde os primórdios da antiguidade para vários fins, desde abrigo, utensílios, ferramentas até meios de transporte como barcos, em função das suas propriedades físicas e mecânicas. No entanto a resistência biológica em relação aos organismos xilófagos requer o uso de tratamentos preservativos. Este capítulo de revisão aborda o potencial de resinas, óleos e extrativos obtidos de espécies florestais da região Amazônica como produtos alternativos de caráter sustentável que podem aumentar a durabilidade natural da madeira. São abordadas espécies florestais como *Hymenaea courbaril*, *Protium* sp, Geoprópolis (resinas vegetais) sintetizadas por abelhas (melíponas), além de extrativos e óleos vegetais. O capítulo destaca a importância e o potencial de produtos sustentáveis da biodiversidade amazônica, que podem contribuir para a valorização dos recursos florestais não madeireiros e para a redução do uso de preservativos como CCA e CCB, altamente poluentes ao homem e ao meio ambiente, comumente utilizados nas indústrias de preservação de madeiras.

**Palavras-chave:** Durabilidade Natural. Geoprópolis. Produtos Sustentáveis. Breu branco. Jatobá.

#### ABSTRACT

Wood is a heterogeneous, organic and complex material that has been used since the dawn of antiquity for various purposes, from shelter to means of transport such as boats, due to its physical and mechanical properties. However, biological resistance to wood-eating organisms requires the use of preservative treatments. This review chapter addresses the potential of resins, oils and natural extractives obtained from forest species in the Amazon region as possible protectors of the natural durability of wood. Forest species such as *Hymenaea courbaril*, *Protium* sp, Geopropolis (plant resins) synthesized by bees (meliponans), also known as stingless bees, as well as oils and extractives, which in general have already shown effective protection in wood, according to reports in the literature, are discussed. The chapter highlights the importance and potential of sustainable products from Amazonian biodiversity, which can contribute to the valorization of non-timber forest resources and to reduce the use of preservatives such as CCA and CCB, which are highly polluting to humans and the environment.

**Keywords:** Natural Durability. Geopropolis. Sustainable products. White Pitch. Jatobá.



## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história a madeira tem sido um recurso essencial na vida do homem em várias situações (marcenaria, construção civil e bioenergia). Trata-se de um recurso relevante por ser renovável e apresentar menor impacto ambiental em comparação aos materiais convencionais, como o aço e o concreto (Paes *et al.*, 2013). A madeira contém substâncias majoritárias como a celulose, lignina e hemicelulose, e minoritários como extrativos, que são substâncias de baixo peso molecular (Klock; Andrade, 2013). Os extrativos possuem como principais grupos químicos os compostos aromáticos, terpenos e alifáticos, facilmente removidas em água e solventes orgânicos (Klock; Andrade, 2013). Influenciam nas características sensoriais da madeira, contribuem no aumento da resistência biológica e atuam na redução da permeabilidade e higroscopicidade (Pedrazzi *et al.*, 2019).

A resistência biológica é influenciada pelo arranjo anatômico, tipo e quantidade de metabólitos secundários existente no lenho. As condições de exposição e o ambiente em que o material é utilizado podem intensificar sua deterioração por agentes bióticos e abióticos, limitando o seu aproveitamento. Fatores como disponibilidade de nutrientes e condições climáticas favorecem a degradação (Stangerlin, 2012, Yilgor *et al.*, 2013).

Existem madeiras que possuem baixa resistência natural, essas devem ser tratadas para aumentar a sua vida útil, para isso utilizam-se componentes químicos nocivos para o homem e para o meio ambiente, como CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e CCB (Borato de Cobre Cromatado), porém o seu uso tem sido restringido nos últimos anos devido aos riscos potenciais que representam para a saúde humana e para o meio ambiente (Zhang *et al.*, 2016). Investigar tratamentos alternativos de caráter sustentável tem se tornado uma prioridade, com objetivo de aumentar a vida útil da madeira e assegurando, ao mesmo tempo, sua viabilidade econômica e sustentabilidade ecológica (Militão *et al.*, 2021).

Em função disso é necessário pesquisar outros produtos alternativos, como resinas naturais, um composto com caráter terpênico e fenólico que age como fungicida e bactericida no lenho, tornando-o mais resistente ao apodrecimento (Silveira, 2015). Silveira (2015) observou que o extrato tânico de *Acacia mearnsii* era eficiente na inibição fúngica de *Pycnoporus sanguineus*, e recomendou o produto como biopreservante de madeira, bem como, extratos tânicos de *Anadenanthera macrocarpa* (Angico Vermelho) que evidenciaram

resultados significativos em relação a degradação causada por térmitas na espécie de *Jacaranda copaia* (Musial *et al.*, 2020).

As resinas e oleoresinas produzidas por essências florestais estão entre os materiais promissores para melhorias das propriedades tecnológicas da madeira, (Carvalho *et al.*, 2018). Além disso, Soares *et al.* (2018) e Brocco (2019) destacam que materiais provenientes de resíduos madeireiros não aproveitados também podem ser alternativas promissoras. Dentro desse contexto, esta revisão tem como objetivo discorrer sobre resinas óleos e extrativos naturais como alternativas aos produtos químicos tradicionalmente utilizados na proteção da madeira, destacando o potencial que possuem para aumentar a durabilidade natural da madeira.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente, os produtos comerciais de acabamento para madeira são predominantemente à base de solventes químicos. Embora esses produtos apresentem qualidade desejável, seus compostos apresentam risco ao meio ambiente e à saúde humana (Souza; Demenighi, 2017). É crescente o interesse no aprimoramento de revestimentos para madeira e seu desempenho sob exposição, principalmente em aplicações externas, desse modo, pesquisas que desenvolvam produtos naturais para proteção e acabamento da madeira são fundamentais.

As tendências recentes nesta área incluem o uso de produtos naturais de base biológica, como extrativos de madeira, óleos vegetais e resinas naturais (González-Laredo *et al.*, 2015; Sablík *et al.*, 2016; Tascioglu *et al.*, 2012).

### 2.1. RESINAS VEGETAIS

Dentre os materiais promissores citados encontram-se as resinas naturais de origem vegetal. As resinas naturais são matérias-primas conhecidas desde tempos remotos por oferecer múltiplas aplicações envolvendo proteção de superfícies, além do uso como isolantes e adesivos (Nogueira *et al.*, 2002; Balfas, 2019; Cunha, 2020). A maior parte das resinas naturais têm origem no metabolismo secundário de árvores ou arbustos das espécies dos grupos das gimnospermas e das angiospermas, sua obtenção se dá a partir de cortes feitos nos troncos, sob a forma líquida (Gigante, 2005).

Alguns autores têm apontado o potencial de uso de algumas resinas como a do Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e breu branco (*Protium Heptaphyllum*), para a utilização como um

produto de acabamento, impermeabilização e proteção de superfícies contra organismos xilófagos, como os fungos de podridão (Nogueira *et al.*, 2002, Soares *et al.*, 2018; Cunha, 2020).

A família Fabaceae, a qual pertence o gênero *Hymenaea*, pertencente a subfamília Caesalpinioideae, possui 16 espécies, sendo 13 nativas do Brasil. O gênero está distribuído pelo bioma do Cerrado e em regiões da floresta amazônica. As espécies do gênero *Hymenaea* são conhecidas popularmente como jatobá, jataí e jetaíba (Cipriano *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2019). A espécie Amazônica, que se destaca é a *Hymenaea courbaril* L. encontrada em matas ciliares, matas de terra firme ou áreas parcialmente inundadas. A madeira é empregada como matéria prima movelarias, em função das características tecnológicas, além de ser recomendada para recuperação de áreas degradadas, arborização e indústrias farmacêuticas (Arruda *et al.*, 2015; Freire *et al.*, 2020; McCoy *et al.*, 2017).

A espécie possui altura em torno de 50m e 2m de diâmetro, sendo assim considerada a maior espécie do gênero. As folhas são compostas biofoliadas, com estipula e pecíolo livre do lado externo. As flores são grandes, brancas e hermafroditas. O fruto possui formato de vagem apresentando sabor e aroma adocicados (Pestana, 2010; Souza; Funch; Queiroz, 2014; Schwartz, 2018).

As árvores são produtoras de resinas (Figura 1) conhecidas como copal Brasil e jutaicaica, que são liberadas a partir do tronco e possuem aroma característico. São tradicionalmente utilizadas como verniz em objetos de cerâmica e também aplicadas em peças de madeira, que visam aumentar sua resistência natural e conferir propriedades impermeabilizantes (Corrêa, 2015). Possuem coloração amarelo-clara e aspecto translúcido, distinguindo-se das resinas produzidas por outras espécies do mesmo gênero (Corrêa, 2015; Oliveira *et al.*, 2019).

Figura 1- Resina de Jatobá



Fonte: Autores.

Quando o tronco é lesionado, a resina é exsudada e se polimeriza rapidamente ao entrar em contato com o ar, esse fenômeno ocorre em função da presença de monômeros responsáveis pela solidificação. Sua composição é predominantemente formada por compostos fenólicos e terpenoides, que atuam na proteção contra fungos e outros microrganismos, desempenhando papel importante na defesa da planta (Fougère-Danezan *et al.*, 2010; Santana, 2015). Nos estudos realizados Nogueira *et al.* (2002), observou-se que a impregnação de resina do Jatobá (*Hymenaea courbaril*) em uma madeira de baixa densidade (*Ficus monckii*) conferiu maior impermeabilidade em relação à não impregnada.

Com base no estudo de Balfas *et al.* (2019), os principais resultados indicaram que a impregnação de madeira de teca de crescimento rápido e de seringueira com extrato de teca e resinas naturais (goma-laca e damar) melhorou significativamente a estabilidade dimensional e a resistência à biodegradação. A modificação com extrato de teca combinado com resina demonstrou redução na absorção de água e inchaço volumétrico, além de aumento significativo na durabilidade das amostras contra térmitas subterrâneas. Esses efeitos foram mais pronunciados na madeira de seringueira, considerada de menor durabilidade natural, evidenciando o potencial das resinas naturais como modificadores ecológicos de desempenho da madeira.

Nos estudos realizados por Soares *et al.* (2018), a resina termoplástica a base de breu formou uma camada de proteção na superfície da madeira de *Pinus sp.*, impedindo que as enzimas digestivas liberadas pelos fungos de podridão branca deteriorassem a madeira. A impregnação com breu proporcionou maior resistência à absorção de água, resultando em menor higroscopicidade da madeira tratada. Além disso, a resina contribuiu para o aumento

da estabilidade dimensional e da durabilidade, complementando os efeitos da modificação térmica.

O breu, uma oleoresina de importância econômica para produção de cosméticos e indústrias farmacêuticas (Rudiger, Vieiga Junior, 2013; Souza *et al.*, 2016) é também exsudado por espécies do gênero *Protium*, integrante da família Burseraceae, que compreende cerca de 700 espécies distribuídas em 18 gêneros e está amplamente distribuída na floresta amazônica.

As espécies dessa família possuem características notáveis como tronco reto, folhas alternas, compostas, sem estipulas, polonizadas por insetos e seus frutos são dispersos por aves e formigas. Utilizam-se a madeira na produção de móveis e construção civil (Silva, 2012). O gênero possui resinas aromáticas conhecidas de modo geral como breu (Figura 2), utilizadas na medicina tradicional, indústria de perfumaria e farmacêutica. O extrato tem consistência pegajosa e cheiro característico, indicado na produção de incensos, vernizes, betume de embarcações e repelentes naturais.

Figura 2 – Resina de Breu



Fonte: Autores

Alguns estudos relatados na literatura abordam que algumas espécies do gênero, possuem eficácia nos tratamentos de doenças inflamatórias e respiratórios (Almeida, 2013; Rudiger, Vieiga Junior, 2013; Rudiger, Siani, Veiga-Junior, 2007; Vieira, 2019). As resinas produzidas são majoritariamente formadas por monoterpenos, sesquiterpenos e triterpenos, onde o componente químico p-cimeno que pertence ao grupo dos monoterpenos é o mais abundante e compõem entre 30% a 45% das oleoresinas do gênero. Os triterpenos também são obtidos em extratos foliares, nos quais os componentes como  $\alpha$ -amirina e  $\beta$ -amirina

correspondem a 45,3%, além de serem acompanhadas por breínas e maniladiol com 9,5% (Cunha, 2020; Ferreira, 2017; Rudiger, 2012; Rudiger, Siani, Veiga-Junior, 2007).

Outra fonte estudada no campo da modificação da madeira são as resinas derivadas do própolis, uma substância complexa elaborada pelas abelhas a partir de resinas vegetais. Akcay et al. (2020) demonstraram que a aplicação de própolis, derivado direto dessas resinas, pode melhorar significativamente a durabilidade da madeira tratada, conferindo maior resistência a organismos xilófagos e reduzindo a degradação biológica. A variabilidade na composição química do própolis, determinada pela flora local, amplia ainda mais seu potencial como agente natural de proteção e conservação de materiais lignocelulósicos.

As abelhas são pertencentes a família Apidae. Em regiões tropicais, especialmente na floresta amazônica, há a ocorrência das abelhas sem ferrão, as melíponas. Somente no Brasil já foram catalogadas aproximadamente 200 espécies (Campos *et al.*, 2014). A meliponicultura refere-se à criação e ao manejo racional de abelhas sem ferrão, atividade que se destaca por seu baixo custo operacional, amplamente praticada nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Além disso, representa uma importante fonte de renda complementar para comunidades rurais. Essas abelhas produzem geoprópolis (Figura 3), uma substância composta por resinas vegetais misturadas a materiais como solo, fibras vegetais e argila. A geoprópolis é utilizada pelas abelhas para vedar aberturas nas colmeias, contribuindo para a manutenção da temperatura e umidade internas, além de atuar como barreira contra a entrada de microrganismos e insetos (Cardozo *et al.*, 2015; Winter; Silva-Nunes, 2014; Zabaiou *et al.*, 2017).

Figura 3 – Resina de Geoprópolis



Fonte: Autores

Do ponto de vista químico, a geoprópolis é rica em compostos fenólicos, terpenos e flavonoides, substâncias reconhecidas por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Esses compostos também apresentam potencial como agentes alternativos para a proteção da madeira, atuando contra organismos degradadores. No entanto, a eficácia da geoprópolis está diretamente relacionada à sua composição química, que por sua vez depende da diversidade florística da região em que as abelhas estão inseridas (Akçay *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2013).

## 2.2. EXTRATIVOS

A utilização de extrativos oriundos de espécies florestais tem demonstrado potencial para aumentar a resistência natural de madeiras vulneráveis ao ataque de organismos xilófagos ou condições abióticas. Nesse caso considera-se tipo e quantidade de extrativos existentes no cerne, que podem ser: taninos, quinonas, terpenóides e flavonoides (Brocco, 2014; Walker, 2006). Os extrativos não integram a parede celular, e é responsável pelas propriedades sensoriais da madeira e de outros atributos como resistência natural, permeabilidade e propriedades abrasivas. Algumas substâncias contidas no lenho podem ser removidas por solventes orgânicos ou água. A quantidade percentual desses componentes

está relacionada com alguns fatores como espécie, idade e sítio de crescimento (Klock; Andrade, 2013; Kadir; Hale, 2012).

A remoção dos extrativos podem facilitar o ataque de agentes degradadores que tendem a consumir massa do material lenhoso, uma vez que a resistência natural está atrelada a modificação química e fisiológica do cerne, que por sua vez, produzem substâncias tóxicas a esses agentes. Estas alterações são caracterizadas no cerne por coloração mais escura, em função da presença de fenóis e polifenóis que ficam retidas nas paredes celulares e no lúmen da madeira (Klock; Andrade, 2013; Oliveira; Hellmeister; Tomazello Filho, 2005). O processo de transformação do alburno em cerne é conhecido por cernificação, que promove melhorias na resistência biológica, mas, pode ocasionar problemas como secagem, em função da obstrução dos vasos e no processo de adesão (colagem) e dependendo do extrativo a pasta celulósica pode adquirir tonalidade mais escura dificultando o branqueamento e afetando a fabricação de papel. A presença do cerne na madeira é fundamental para diversas aplicações como movelaria, construção civil e produção de carvão, por conta das características específicas que essa parte do lenho apresenta (Silva, 2005;; Sarto, Sansigolo, 2010).

### 2.3. ÓLEOS VEGETAIS

A diversidade de espécies e a disponibilidade de matérias-primas como fonte de óleos vegetais é bem vasta quando se leva em consideração a extensão do território brasileiro extraídos de sementes, frutos ou outras partes de plantas, os óleos vegetais têm sido valorizados por suas propriedades nutritivas e medicinais desde os tempos ancestrais. Já nos dias atuais, tem despertado cada vez mais o interesse de pesquisadores em uma variedade de áreas, como a do setor madeireiro (Benevides, 2008).

Os óleos vegetais estão cada vez mais adquirindo seu espaço nos comércios gerais, de forma a ganhar destaque como matéria-prima. A produção desses óleos é feita a partir de diferentes partes das plantas, como folhas, casca, frutos e sementes, ou ainda, a partir de incisões/perfurações no tronco de árvores vivas. Essas substâncias geradas pelas plantas tem uma origem peculiar e atuam como um mecanismo de defesa contra agentes patogênicos, com a ausência de metabolitos tóxicos ao homem, onde a flora Amazônica é considerada uma grande fonte desse recurso natural (Marinho, 2012).

No contexto da marcenaria e do tratamento de madeira, os óleos e extratos vegetais têm sido utilizados tradicionalmente como acabamento para proteger, realçar e preservar a

beleza natural da madeira (Moreschi, 2013). A técnica de impregnação da madeira com óleo vegetal tem sido empregada para melhorar as propriedades físicas e estéticas da madeira, bem como para prolongar sua durabilidade.

Dentre os produtos de origem vegetal para acabamento e proteção da madeira, pode-se destacar o óleo vegetal de uma espécie arbórea de bastante interesse, a tungue (*Vernicia fordii*). Essa espécie é nativa do sul da China e sua produção tem alta demanda em função de seu óleo, que é extraído a partir de suas sementes onde possui uma constituição predominantemente de um ácido graxo denominado ácido alfa-Eleosteárico, o que lhe possibilita uma alta capacidade de secagem e isolamento, proporcionando uma melhor proteção e rigidez a madeira (Sonntag, 1979).

De acordo com Dias e Barreiros (2018), a linhaça é um outro exemplo de espécie vegetal reconhecida comercialmente pelo óleo produzido por meio de suas sementes, e que é de interesse para várias indústrias. Na indústria de acabamento e proteção da madeira é considerado um dos tratamentos naturais com excelentes resultados, em função do alto nível secativo que confere uma boa impermeabilização e proteção.

Os óleos vegetais têm sido aplicados também como meio auxiliar no processo de modificação térmica da madeira, que visa melhorar as propriedades físicas, biológicas e de superfície por meio da exposição controlada da madeira a altas temperaturas. Segundo Nejad *et al.* (2013), as principais modificações químicas durante o tratamento térmico acontecem em temperaturas na faixa de 160 a 260°C. Isso possibilita a introdução de óleos vegetais nesse processo, uma vez que o ponto de fulgor de muitos óleos naturais supera as temperaturas comumente utilizadas no tratamento térmico da madeira (Conte, 2015). De acordo com os resultados obtidos por Marinho (2024) a impregnação dos óleos vegetais na madeira apresentou efeitos positivos com relação a redução da umidade de equilíbrio, absorção de água e instabilidade dimensional da madeira. Quando aliado ao processo de modificação térmica, essas melhorias foram ainda mais significativas, chegando a reduzir o inchamento volumétrico da madeira em 27%.

Apesar dos usos tradicionais bem estabelecidos dos óleos e extratos vegetais, e da prática comum de impregnar e tratar térmicamente a madeira, a falta de pesquisa abrangente sobre o uso de óleos vegetais para melhorias tecnológicas da madeira tem sido evidente. Enquanto os óleos vegetais têm sido valorizados por suas propriedades protetoras e estéticas,

a pesquisa científica e tecnológica sobre o uso desses óleos e extratos para aprimorar as propriedades da madeira, como resistência, durabilidade e estabilidade, tem sido limitada.

A falta de pesquisa aprofundada pode representar uma lacuna no desenvolvimento de novas técnicas de tratamento de madeira que integrem os benefícios dos óleos e extratos vegetais. A investigação adicional e os testes rigorosos são necessários para explorar o potencial dos óleos e extratos vegetais na melhoria das propriedades tecnológicas da madeira, bem como para desenvolver métodos inovadores que combinem o tratamento térmico, a impregnação com óleos vegetais e outras técnicas para criar soluções avançadas e sustentáveis para a preservação e uso da madeira.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As resinas, óleos e extrativos de origem vegetal, por seu perfil sustentável, representam alternativas promissoras para a proteção da madeira frente à ação de organismos xilófagos. Esses produtos contêm compostos bioativos que conferem propriedades como ação antifúngica, inseticida e antioxidante, contribuindo para o aumento da resistência biológica da madeira. Além disso, seu uso favorece o aproveitamento de produtos florestais não madeireiros na região Amazônica, estimulando práticas de manejo sustentável e gerando oportunidades econômicas para populações locais. Entretanto, ainda é necessário o avanço em pesquisas voltadas à padronização dos métodos de extração e à validação da eficácia desses compostos, a fim de viabilizar sua aplicação em larga escala como alternativa viável aos preservativos químicos convencionais

### REFERÊNCIAS

- AKCAY, C. *et al.* **Durability of wood treated with própolis**. BioResources, v.15, n.1, p.1547-1562, 2020.
- ALMEIDA, P. D. O. **Avaliação da atividade anti-inflamatória de triterpenos isolados de óleo-resinas de *Protium paniculatum* Engler (burseraceae)**. 2013, 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2013.
- ARRUDA, R. S. I. *et al.* Structure and rheological properties of a xyloglucan extracted from *Hymenaea courbaril* var. *courbaril* seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 73, p. 31-38. 2015.
- BALFAS, J. Use of Organic Resins for Wood Modification. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 359, p. 012001, 24 out. 2019.

- BENEVIDES, R.G. Avaliação do potencial fungicida e termiticida de uma fração protéica lectínica de sementes de *Platypodium elegans* Vogel e obtenção da lectina purificada. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) — Instituto de Bioquímica, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
- BROCCO, V. F. *et al.* Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative. **Journal of Cleaner Production**, v.142, p.2093-2099, 2017.
- BROCCO, V. F. **Potencialidades dos extrativos do cerne da madeira de teca como preservativo natural e sua influência na cor de madeiras claras.** 86f, 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.
- BROCCO, V.F. **Extratos de resíduos industriais da madeira de Teca para proteção da madeira a organismos xilófagos.** 2019. 90f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, 2019.
- CAMPOS, J. F; *et al.* Antimicrobial, antioxidant and cytotoxic activities of propolis from *Melipona orbignyi* (Hymenoptera, Apidae). **Food and Chemical Toxicology**, v.65, p.374-380, 2014.
- CARDOZO, D. V. *et al.* Variabilidade química de geoprópolis produzida pelas abelhas sem ferrão Jataí, Mandaçaia e Mandurí. Revista. **Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p.2457-2474, 2015.
- CARVALHO, D. E. *et al.* Fungos manchadores e emboladores. In: CASTRO, Vinicius Gomes de *et al.* **Deterioração e Preservação da Madeira.** Mossoró: Edufersa, Cap. 2, p. 21-39, 2018.
- CIPRIANO, J. *et al.* O gênero *Hymenaea* e suas espécies mais importantes do ponto de vista econômico e medicinal para o Brasil. **Caderno de Pesquisa, Série Biologia.** v. 26. n. 2. p. 41-51, 2014.
- CONTE, B. Propriedades tecnológicas de madeiras do gênero *Eucalyptus* submetida a termorretrificação em óleo vegetal. 2015. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- CUNHA, V. R. **Produção e caracterização de impermeabilizante a base da resina de breu branco da Amazônia.** 2020, 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2020.
- DIAS, K. B.; BARREIROS, R. M. PRESERVANTES PARA MADEIRAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO— UMA REVISÃO. PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA. V. 15, n. 30, p. 241-251, 2018.
- FERREIRA, R. G. D. S. **Obtenção da mistura triterpênica de  $\alpha$ ,  $\beta$ -Amirenonae avaliação de seus efeitos hipolipemiante, hipoglicemiante e antiobesidade.** 2017. 111 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2017.

- FOUGÈRE-DANEZAN, M. *et al.* Morphological evolution in the variable resin-producing Detarieae (Fabaceae): do morphological characters retain a phylogenetic signal? **Annals of Botany**, v.105, n.2, p. 311 – 325, 2010.
- FREIRE, J. M *et al.* Vegetative propagation of *Hymenaea courbaril* L. and *Apuleira leiocarpa* (Vogel) J.F Macbr by Mini-Cutting. **Revista Árvore**, 2020.
- GONZÁLEZ-LAREDO, R. F. *et al.* Wood preservation using natural products. **Madera y bosques**, v. 21, p. 127 p., 2015.
- GIGANTE, B. Resinas naturais. **Conservar Patrimônio** – V. 1, N 1, p. 33-46, 2005.
- KADIR, R.; HALE, M. D. Comparative termite resistance of 12 Malaysian timber species in laboratory tests. **Holzforschung**, v. 66, n. 1, p. 127-130, 2012.
- KLOCK, U.; ANDRADE, A.S. **Química da Madeira**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Florestais, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba, 4ª edição revisada, p. 03 -81, 2013.
- McCOY, E. V. *et al.* The chemistry of American and African amber, copal, and resin from the genus *Hymenaea*. *Organic Geochemistry*, v. 113, p. 43-54, 2017.
- MARINHO, J.S. Desenvolvimento de nanocápsulas contendo óleo resina de *Carapa guianensis*. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, Programa Institucional de Iniciação Científica (PIBIC), 2012.
- MARINHO, J.F.C. Efeito da aplicação de óleos vegetais nas propriedades físicas de diferentes madeiras amazônicas termicamente modificadas. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, 2024.
- MILITÃO, L. V. *et al.* Compostos naturais extraídos de plantas na preservação de madeiras: Uma revisão narrativa. *In*: VANGELISTA, W. V. (Org.). **Madeiras nativas e plantadas do Brasil: Qualidade, pesquisas e atualidades**. editora científica digital V.1, n.1, p. 356-371, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.37885/210504694> Acesso em: 01 de Maio de 2025.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade Federal do Paraná, v. 4, 2012.
- MUSIAL, C. M. *et al.* Uso de tanino no tratamento preservativo da madeira de Jacaranda copaia. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidades**, v.8, 2020.
- NOGUEIRA, J. S. *et al.* Impregnação com resina natural na Figueira Branca como forma alternativa de impermeabilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** -

v.6, n.2, p.321-324, 2002

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMESTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA; F. G. S; *et al.* The genus *Hymenaea* (Fabaceae): A chemical and pharmacological Review. **Studies in Natural Products Chemistry**, v.58, p.339 – 388, 2019.

OLIVEIRA; F. G. S; *et al.* The genus *Hymenaea* (Fabaceae): A chemical and pharmacological Review. **Studies in Natural Products Chemistry**, v.58, p.339 – 388, 2019.

PAES, J. B. *et al.* Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, Lavras, v.19, n.3, p.399-405, 2013.

PEDRAZZI, C. *et al.* **Química da Madeira**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, Santa Maira, RS, 2019.

PESTANA, L.T.C. **Estudo taxonômico de *Hymenaea* L.: complexo *H. courbaril*, *H. martiana* e *H. stigonocarpa* (Fabaceae: Caesalpinioidea: Detarieae)**. 2010, Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal ) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS, 2010.

RUDIGER, A. L. **Estudo fitoquímico e citotóxico de oleoresinas de Burseraceae**. 2012, 216f. Tese (Doutorado em ) Universidade Federal do Amazonas, AM, 2012.

RUDIGER, A. L. SIANI, A. C; VEIGA-JUNIOR, V. F. The chemistry and pharmacology of the South America genus *Protium burm f.* (burseraceae). *Pharmacognosy Review*, p. 93-104, 2007.

RUDIGER, A. L; VEIGA – JUNIOR, V. F. Chemodiversity of ursane and oleanantype triterpenes in Amazonian Burseraceae oleoresins. **Chemistry and Biodiversity**, v.10, p. 1142-1153, 2013.

SABLÍK, P. *et al.* Impact of extractive chemical compounds from durable wood species on fungal decay after impregnation of nondurable wood species. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, n. 2, p. 231–236, 2016.

SANTANA, T. C. **Uso do extrato de folhas do Jatobá (*Hymenaea martiana* Hayne) na redução das contagens de *Salmonella* spp., *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* em leite cru**. 2015, 52f. dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2015.

SARTO, C; SANSIGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2010.

- SCHWARTZ, G. Jatobá – *Hymenaea courbaril*. **Exotic Fruits, Academic Press**, p. 257 – 261, 2018.
- SILVA, E. C. C. *et al.* Constituintes fenólicos e atividade antioxidante da geoprópolis de duas espécies de abelhas sem ferrão amazônicas. **Química Nova**, v.36, n.5, p. 628 – 633, 2013.
- SILVA, S. S. **Estudo do xilema secundário de espécies da família Burseraceae produtoras de óleos**. Tese (Doutorado em Recursos Ambientais e Uso da Terra) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 156, 2012.
- SILVEIRA, A. G. **Utilização de taninos como preservante natural da madeira de *Acacia mearsii* e sua toxidez ao fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus***. 2015, 90f. dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2015.
- SOARES, A. K. *et al.* Eficiência do tratamento combinado de impregnação e termorretificação nas propriedades da madeira de *Pinus*. **Revista Matéria**, v.23, n.04, 2018.
- SONNTAG, N. O. V., *Composition and Characteristics of Individual Fats and Oils*. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 1, 4th, Edited by D. Swern, John Wiley & Sons, New York, 289- 477, 1979.
- SOUZA, R. V; DEMENIG, A. L. Tratamentos preservantes naturais de madeiras de floresta plantada para a construção civil. **Mix Sustentável** – V. 3, N. 1, p. 84 – 92, 2017.
- SOUZA, I. M.; FUNCH, L. S.; QUEIROZ, L. P. Morphological analyses suggest a new taxonomic circumscription for *Hymenaea courbaril* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae). *PhytoKeys*. v. 38, p. 101– 118, 2014.
- SOUZA, L. R. *et al.* Histochemical characterization of secretory ducts and essential oil analysis of *Protium* species (Burseraceae). **Journal of Essential Oil Research**, v. 28, p. 166-171, 2016.
- STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de Propriedades de Madeiras da Amazônia Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores**. 2012, 259f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, DF, 2012.
- TASCIOGLU, C. *et al.* Termiticidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. **BioResources**, v. 7, n. 3, p. 2960–2969, 2012.
- VIEIRA, L. F. S. **Influência da composição química de quatro espécies amazônicas na resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores**. 2019, p.86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, 2019.
- WALKER, J. C. F. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure. In: WALKER, J. C. F. *et al.* **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer, p. 23-67, 2006.

YILGOR, N. *et al.* Evaluation of fungal deterioration in *Liquidambar orientalis* Mill. heartwood by FT-IR and light microscopy. **BioResources**, v. 8, n. 2, 2805-2826, 2013.

ZABAIYOU, N. *et al.* Biological properties of propolis extracts: Something new from an ancient product. **Chemistry and Physics of Lipids**, v.207 (Pt B), p. 214-222, 2017.

ZHANG, Z. *et al.* Antifungal activity of monoterpenes against wood white-rot fungi. **International Biodeterioration and Biodegradation**, p157-160, 2016.

# CAPÍTULO XIX

## USO DE BIOCHAR COMO CONDICIONADOR DE SOLO: REVISÃO DOS EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

### USE OF BIOCHAR AS A SOIL CONDITIONER: REVIEW OF EFFECTS ON SOIL PHYSICAL, CHEMICAL, AND BIOLOGICAL PROPERTIES

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-19

Merlindo Jacinto Manjate <sup>1</sup>  
Marnela Da Caridade Manuel <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doutorando em Ciências Florestais. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo — UFES

<sup>2</sup> Mestranda em Ciências Florestais. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo — UFES

#### RESUMO

O biochar é um material carbonáceo obtido por meio da pirólise controlada de biomassa, que tem ganhado destaque como uma alternativa sustentável para a melhoria da qualidade do solo. Suas propriedades físicas, como alta porosidade, ampla área superficial, estabilidade estrutural e resistência à decomposição, contribuem significativamente para o aprimoramento das condições edáficas. Esta revisão sumariza os principais efeitos do biochar no solo, agrupando-os em três categorias: físicas, químicas e biológicas. Diversos estudos demonstram que, entre os efeitos físicos, destaca-se a melhoria da estrutura do solo, a redução da densidade aparente e o aumento da porosidade e da capacidade de retenção de água. Em relação às propriedades químicas, observa-se a elevação do pH e o aumento na disponibilidade de nutrientes. Sob ponto de vista biológico, o biochar favorece a atividade e a diversidade microbiana, promovendo processos essenciais como a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes. Contudo, seus efeitos não são uniformes, variando conforme o tipo de solo, a matéria-prima utilizada e as condições da pirólise (temperatura, tempo de residência). Compreender essas interações é fundamental para o uso eficiente e seguro do biochar. Estudos futuros devem investigar seus impactos a longo prazo, sua eficácia em diferentes condições edafoclimáticas.

**Palavras-chave:** Biochar. Biomassa. Ciclagem de nutrientes. Atividade microbiana. Sequestro de carbono.

#### ABSTRACT

Biochar is a carbonaceous material obtained through controlled pyrolysis of biomass, which has gained prominence as a sustainable alternative for improving soil quality. Its physical properties, such as high porosity, large surface area, structural stability and resistance to decomposition, contribute significantly to improving soil conditions. This review summarizes the main effects of biochar on soil, grouping them into three categories: physical, chemical and biological. Several studies demonstrate that, among the physical effects, the most notable are the improvement of soil structure, reduction of apparent density and increase in porosity and water retention capacity. Regarding chemical properties, an increase in pH and an increase in nutrient availability are observed. From a biological point of view, biochar favors microbial activity and diversity, promoting essential processes such as the decomposition of organic matter and nutrient cycling. However, its effects are not uniform, varying according to the type of soil, the raw material used and the pyrolysis conditions (temperature, residence time). Understanding these interactions is essential for the efficient and safe use of biochar. Future studies should investigate its long-term impacts, its effectiveness in different soil and climate conditions.

**Keywords:** Biochar. Biomass. Nutrient cycling. Microbial activity. Carbon sequestration.



## 1. INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo é um fator-chave para a sustentabilidade e produtividade agrícola, especialmente diante dos desafios impostos pelo crescimento populacional e pelas mudanças climáticas. Nesse contexto, a busca por condicionadores de solo que possam melhorar suas propriedades físico-químicas e biológicas tem recebido atenção crescente. O biochar, um material carbonáceo obtido por meio da pirólise da biomassa, destaca-se como uma alternativa promissora devido às suas propriedades benéficas para o solo, como a melhoria da sua estrutura (BOLAN et al., 2022; HUANG et al., 2023). Diversos estudos indicam que a aplicação de biochar pode contribuir significativamente para a melhoria das características físico-químicas e biológicas do solo, proporcionando benefícios como o aumento do pH, a retenção de nutrientes e o incremento da biomassa microbiana (GUO; HE; UCHIMIYA, 2015; HOSSAIN et al., 2020; PALANIVELL et al., 2019; PARMAR; DAKI; SHRIVASTAV, 2021; SRIVASTAVA et al., 2023). Além disso, o biochar melhora a capacidade de retenção de água dos solos e, conseqüentemente, a água disponível para as plantas (SCHMIDT et al., 2021). Outro aspecto importante é a maior estabilidade e acúmulo de carbono orgânico no solo, atribuídos à natureza altamente recalcitrante do biochar (EL-NAGGAR et al., 2018; GELARDI; PARIKH, 2021). Embora diversos estudos apontem os benefícios do biochar para as propriedades físico-químicas e biológicas do solo, seus efeitos sobre a fertilidade são complexos e influenciados por diversos fatores, incluindo o tipo de solo, as condições ambientais e as características do biochar utilizado. O uso de biochar, especialmente quando combinado com fertilizantes nitrogenados, pode resultar em aumentos expressivos na produtividade agrícola em diferentes tipos de solo e condições climáticas (GELARDI; PARIKH, 2021; SCHMIDT et al., 2021). A combinação entre biochar e fertilizantes favorece a absorção de nutrientes pelas plantas (LIU et al., 2022), resultando em maiores rendimentos em culturas como arroz e milho (MACCARTHY et al., 2020; SUN et al., 2023). Esses achados sugerem que a aplicação de biochar representa uma estratégia promissora para o avanço da agricultura sustentável, especialmente em solos de baixa fertilidade. Além dos seus benefícios agronômicos, o biochar desempenha um papel significativo na mitigação das emissões de gases de efeito estufa, sendo reconhecido como uma estratégia eficaz para o sequestro de carbono a longo prazo (AYAZ et al., 2021; GUO; HE; UCHIMIYA, 2015; KUMAR et al., 2016; XU et al., 2024). Dessa forma, sua utilização não somente contribui para o aumento da fertilidade

e da produtividade agrícola, como também responde a demandas ambientais, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Assim, este trabalho visa realizar uma revisão dos efeitos do uso do biochar como condicionador do solo, com ênfase em suas influências sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas.

## 2. METODOLOGIA

Esta revisão foi elaborada a partir da análise de artigos científicos disponíveis em bases de dados internacionais, como Scopus, Web of Science e Google Scholar. A busca foi realizada utilizando os termos-chave “biochar”, “soil fertility”, “agricultural productivity” e “soil amendment”, em inglês, com operadores booleanos (AND, OR). Foram considerados estudos publicados entre 2015 a 2025, com foco em capítulos de livros, artigos revisados por pares, revisões sistemáticas, meta-análises relevantes ao tema. Os critérios de inclusão adotados foram: (i) estudos que abordam o uso de biochar como condicionador de solo; (ii) investigações com dados sobre efeitos na fertilidade e/ou produtividade agrícola; e (iii) publicações com informações claras sobre o tipo de solo, cultura agrícola e características do biochar. Ao final do processo, os artigos que atenderam aos critérios de inclusão foram selecionados para compor esta revisão, os quais foram analisados qualitativamente quanto aos efeitos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

## 3. BIOCHAR

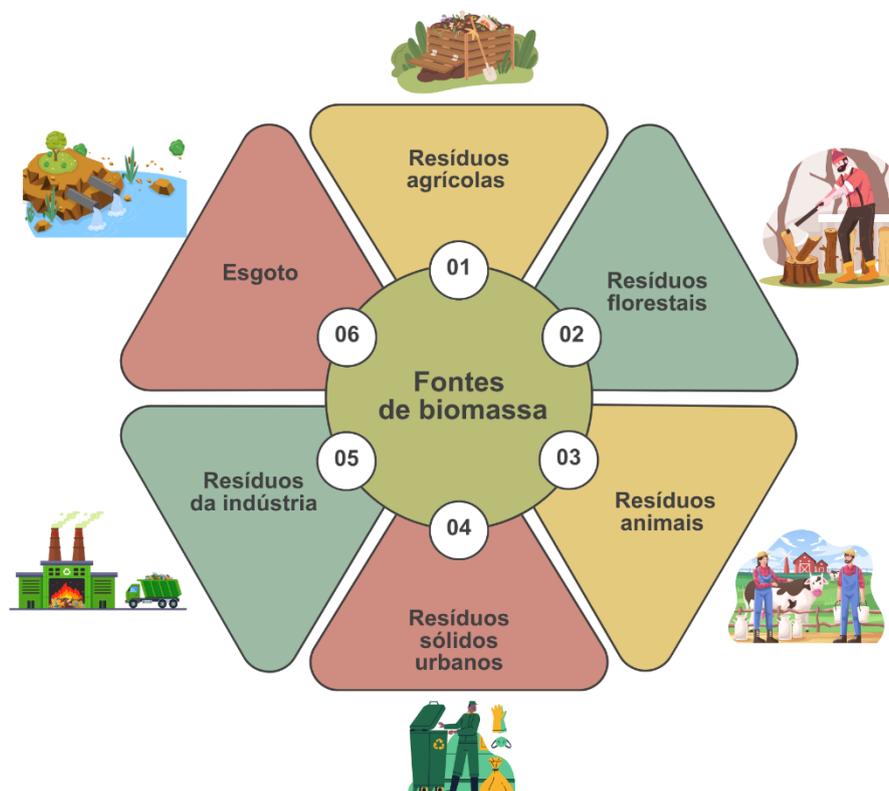
### 3.1. DEFINIÇÃO, TIPOS DE MATÉRIA-PRIMA E PRODUÇÃO

O biochar é um material sólido, rico em carbono, obtido a partir da decomposição térmica de biomassa orgânica em condições de ausência ou presença limitada de oxigênio, um processo conhecido como pirólise (BOLAN et al., 2022; MULINARI et al., 2021). Durante esse processo, o carbono lábil presente na biomassa é convertido em carbono recalcitrante, uma forma mais estável e resistente à degradação, permitindo o seu sequestro no solo por longos períodos (AMIN et al., 2016). O biochar tem recebido crescente atenção devido às suas características únicas, como o elevado teor de carbono, alta capacidade de troca catiônica (CTC), ampla área de superfície específica, estrutura estável e forte capacidade de adsorção. Os principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade do biochar incluem o teor de carbono, densidade aparente, estabilidade do carbono, composição elementar, área superficial específica, conteúdo nutricional, concentração de metais pesados, valor de pH, umidade, teor de cinzas, presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs),

porosidade, condutividade elétrica, capacidade de retenção de água e CTC (KHATER et al., 2024). As propriedades e a eficácia do biochar dependem fortemente do tipo de biomassa utilizada como matéria-prima e das condições específicas da pirólise, principalmente a temperatura e o tempo de residência (AL-WABEL et al., 2018; TOMCZYK; SOKOŁOWSKA; BOGUTA, 2020).

A produção de biochar pode utilizar uma ampla gama de matérias-primas (Figura 1), especialmente biomassa vegetal, como madeira e resíduos agrícolas (casca de arroz, palha de trigo, rizoma de mandioca), bem como resíduos urbanos, como lodo de esgoto e resíduos urbanos como lodo de esgoto (AMIN et al., 2016; DAS et al., 2021; MULINARI et al., 2021; MAJEWSKA; HANAKA, 2025).

Figura 1 – Principais fontes de biomassa para produção de biochar.



Fonte: Autoria própria.

Entre os principais métodos de produção de biochar, destaca-se a pirólise, considerada a técnica mais comum, que consiste no aquecimento da biomassa em temperaturas entre 300 °C e 1000 °C sob condições limitadas de oxigênio (DAS et al., 2021; WANG, 2021). A pirólise pode ocorrer de forma lenta ou rápida: na pirólise lenta, utilizam-se temperaturas mais baixas (300 a 600 °C) e tempos de residência mais longos, favorecendo uma maior produção de biochar (MAHMOOD SHAKER; M. FENJAN, 2023; PALVIAINEN; HANSEN;

LAURÉN, 2025), ou de forma rápida, utilizando temperaturas mais elevadas (850 a 1250 °C) e tempos curtos, resultando em maior produção de bio-óleo e gás de síntese (PALVIAINEN; HANSEN; LAURÉN, 2025). Outros métodos incluem a gaseificação, que promove a oxidação parcial da biomassa em altas temperaturas (700 a 900 °C), gerando principalmente syngas e tendo o biochar como subproduto (PALVIAINEN; HANSEN; LAURÉN, 2025; WANG, 2021), e a torrefação, considerada uma pirólise branda, realizada em temperaturas mais baixas (200 a 320 °C), sendo usada principalmente para melhorar as propriedades energéticas da biomassa (PALVIAINEN; HANSEN; LAURÉN, 2025; RATHEE et al., 2024).

## 4. EFEITOS DO BIOCHAR NAS PROPRIEDADES DO SOLO

### 4.1. EFEITO DO BIOCHAR NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

O biochar, um material rico em carbono obtido por meio da pirólise de resíduos orgânicos, apresenta características físico-químicas únicas que contribuem para o aumento da fertilidade, melhoria da estrutura e funcionalidade do solo. Nos últimos anos, diversos estudos tem investigado os impactos da aplicação do biochar nas propriedades do solo (AL-WABEL et al., 2018; BEUSCH, 2021; EDEH; MASEK, 2022; LU et al., 2018). Geralmente a aplicação do biochar no solo melhora as propriedades físicas e químicas do solo, que incluem a densidade, capacidade de retenção da água, porosidade, capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes, pH (BLANCO-CANQUI, 2017; HUI, 2021; PREMALATHA et al., 2023; XIANG et al., 2017). A Figura 2 mostra os principais efeitos da aplicação de biochar nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Diversos estudos relatam que a aplicação de biochar contribui significativamente para a melhoria das propriedades físicas do solo, promovendo o aumento da porosidade, a redução da densidade aparente e o aprimoramento da agregação e da capacidade de retenção de água (RIAZ et al., 2018; ZHU et al., 2025). A redução da densidade aparente varia conforme a taxa de aplicação, textura do solo e propriedades físicas do biochar que estão relacionadas ao tipo de matéria-prima e temperatura de pirólise (SINGH et al., 2022). RIAZ et al., (2018), observou que a aplicação de biochar produzido a partir da palha da cana-de-açúcar resultou em uma significativa redução da densidade aparente do solo, especificamente no solo tratado com biochar foi de  $1,09 \text{ g cm}^{-3}$ , inferior à observada no solo controle, que apresentou densidade aparente de  $1,17 \text{ g cm}^{-3}$ . Em estudo com solos agrícolas de Portugal, realizado por VERHEIJEN et al. (2019), observou-se que o biochar, produzido a 620 °C, reduziu a densidade do solo e

aumentou a capacidade de retenção de água em solos arenoso e franco-arenoso. Efeitos significativos foram detectados com a aplicação de somente 1% de biochar no solo arenoso e a partir de 5% no solo franco-arenoso, evidenciando a eficiência do biochar em melhorar a estrutura física e a funcionalidade hídrica do solo.

Figura 2 - Principais efeitos da aplicação de biochar nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

## Aplicação do biochar no solo

### Propriedades físicas do solo

1. Mantém a estrutura do solo
2. Melhora a densidade do solo (densidade aparente)
3. Aumenta a porosidade do solo
4. Aumenta a capacidade de retenção de água
5. Melhora a textura

### Propriedades químicas do solo

1. Melhora a CTC (Capacidade de Troca de Cátions)
2. Elevação do pH
3. Aumenta a disponibilidade de nutrientes

### Propriedades biológicas do solo

1. Aumenta a massa microbiana
2. Intensifica a atividade microbiana



Fonte: Autoria própria.

As propriedades físicas do biochar, como tamanho de partícula, área superficial específica e porosidade, são fundamentais para o desempenho do biochar na melhoria da capacidade de retenção de água do solo. A estrutura porosa do biochar aumenta a capacidade do solo de reter água e facilita a infiltração mais profunda da água, o que é particularmente benéfico em solos de textura grossa que geralmente apresentam baixa capacidade de retenção da umidade (EDEH; MASEK, 2022; RAZZAGHI; OBOUR; ARTHUR, 2020).

O biochar altera significativamente o pH do solo, um efeito que depende de suas características originais e do tipo de matéria-prima usada para sua produção. Uma observação comum é que a aplicação de biochar aumenta o pH do solo, melhorando assim a acidez nos solos, conforme evidenciado por pesquisas que demonstram um aumento nos níveis de pH em diversos tipos de solos alterados com diferentes biochars (ABUKARI; COBBINAH, 2024;

SILVA et al., 2017; TRIPPE et al., 2015). Por exemplo, SMEBYE et al. (2016), observaram que a introdução de biochar pode levar a melhorias substanciais na alcalinidade do solo, o que subsequentemente beneficia a disponibilidade de nutrientes. No entanto, o impacto específico no pH do solo pode variar, alguns tipos de biochar podem diminuir os níveis de pH devido ao alto teor de sal, sugerindo a necessidade de uma seleção cuidadosa com base na química do solo e nas culturas pretendidas (ALI; MOHAMMED; MEKONNEN, 2023).

Além da correção do pH, o biochar aumenta significativamente a capacidade de troca catiônica (CTC), crucial para retenção e absorção de nutrientes. A sua estrutura porosa facilita o movimento do ar e da água, ao mesmo tempo, cria uma área de superfície substancial para interações com partículas do solo, aumentando assim a CTC, e esse aumento se traduz em melhor retenção de macro e micronutrientes essenciais, como potássio e cálcio, vitais para a saúde das plantas. (DEKA et al., 2019; DOTANIYA et al., 2024).

O biochar também contribui significativamente para o ciclo de nutrientes e sua retenção. Ao imobilizar nutrientes na zona radicular e reduzir perdas em solos arenosos ou degradados, o biochar garante maior disponibilidade nutricional às plantas ao longo do tempo (ANTONJIOUS; TURLEY; DAWOOD, 2020; ELANGO VAN et al., 2022). A sua aplicação associada a fertilizantes tem mostrado aumentar a eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas, além de diminuir perdas de nitrogênio, fator crucial para a agricultura moderna (NABAVINIA et al., 2015; SILVA et al., 2017; ZHANG; LI; MAHMOOD, 2015).

## 4.2. PROPRIEDADE BIOLÓGICAS DO SOLO

O biochar também desempenha um papel fundamental na promoção da atividade biológica do solo. Populações microbianas e biodiversidade aprimoradas têm sido consistentemente associadas à aplicação de biochar. Pesquisas evidenciaram que o biochar pode estimular o crescimento de comunidades microbianas benéficas que contribuem para a fertilidade do solo por meio da decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (GE et al., 2016; SUSHKOVA et al., 2021; YILDIZLI; CORAL; AYAZ, 2021). Além disso, a incorporação de biochar em solos pode servir como habitat para micróbios, fornecendo um ambiente propício para sua proliferação (DOTANIYA et al., 2024; SUSHKOVA et al., 2021). Esse aumento na atividade microbiana resulta no aumento da atividade enzimática, vital para vários processos bioquímicos do solo, incluindo decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (ANTONJIOUS, 2023; BAKSHI et al., 2021).

É importante ressaltar que as interações entre biochar, nutrientes do solo e comunidades microbianas parecem ser complexas e dependentes do contexto. A eficácia do biochar pode variar com base em diversos fatores, incluindo o tipo de solo, o teor de umidade e a microbiota existente (FIDEL; LAIRD; PARKIN, 2017; JINDO et al., 2020). Em alguns estudos, os benefícios do biochar foram reduzidos em contextos específicos, sugerindo potenciais desafios na previsão dos resultados da aplicação de biochar sem a compreensão das condições específicas do solo e do ambiente (GE et al., 2016).

Além disso, os efeitos a longo prazo da aplicação de biochar nas propriedades do solo continuam sendo objeto de pesquisa. A estabilidade e a persistência do biochar nos solos significam que ele pode proporcionar benefícios sustentados ao longo do tempo, como sequestro contínuo de carbono e liberação gradual de nutrientes (ABUKARI; COBBINAH, 2024; DARFIS et al., 2023; MARAT, 2023). A idade física do biochar sua interação com os componentes do solo ao longo do tempo também desempenha um papel crucial em sua eficácia. À medida que envelhece, o biochar pode desenvolver novos grupos funcionais na superfície, potencializando sua capacidade de interação com nutrientes e microrganismos do solo, reforçando seu papel como condicionador do solo (ZHOU; BROWN; WEN, 2020).

Em termos de ciclagem de nutrientes, o biochar tem sido reconhecido por sua capacidade de mitigar a lixiviação de nutrientes, particularmente em solos arenosos. Esse efeito é fundamental para preservar nutrientes na zona radicular, aumentando assim a eficiência da fertilização (ANTONJIOUS, 2023; ELANGO VAN et al., 2022), as alterações do biochar levam a uma redução acentuada no escoamento de nutrientes, particularmente nitrogênio uma preocupação essencial nas práticas agrícolas (ANTONJIOUS, 2023; SILVA et al., 2017). A aplicação de biochar em combinação com fertilizantes demonstrou permitir melhor eficiência no uso de nutrientes pelas plantas, o que é crítico para maximizar a produtividade agrícola e minimizar os impactos ambientais (NABAVINIA et al., 2015; TRIPPE et al., 2015).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do biochar como condicionador de solo tem se mostrado uma alternativa promissora para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, especialmente em contextos agrícolas com baixa fertilidade ou suscetíveis à degradação. A literatura científica revisada evidencia que o biochar pode promover a redução da densidade

do solo, o aumento da porosidade, da retenção de água e da capacidade de troca catiônica, além de favorecer a atividade microbiana e a estabilidade da matéria orgânica.

Os efeitos do biochar, no entanto, são influenciados por diversos fatores, como a matéria-prima utilizada na sua produção, a temperatura da pirólise, a dose aplicada e as características específicas do solo. Além disso, a interação do biochar com o solo evolui ao longo do tempo, podendo ocorrer a formação de novos grupos funcionais que aumentam sua eficácia como condicionador.

Apesar dos avanços, ainda são necessários estudos de longo prazo que avaliem os impactos contínuos do biochar nas diferentes propriedades do solo e nas culturas agrícolas, em especial considerando variabilidades climáticas e condições edafoclimáticas distintas. O aprofundamento dessas investigações é essencial para consolidar diretrizes seguras e eficientes para a aplicação do biochar em larga escala, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura e a mitigação das mudanças climáticas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, por meio da concessão de bolsa de estudos, que viabilizou a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABUKARI, A.; COBBINAH, P. Can Biochar Made From Rice Husk Affect Savanna Soils' pH, Electrical Conductivity, and Soil Respiration? **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 978–983, 2024.
- ALI, J.; MOHAMMED, A. S.; MEKONNEN, A. B. **Biochar of *Prosopis juliflora* for Improving Crops Germination and Growth on Sandy-Loam Soil**. **ADVANCES IN AGRICULTURE** ADAM HOUSE, 3RD FLR, 1 FITZROY SQ, LONDON, W1T 5HF, ENGLAND HINDAWI LTD, 2023.
- AL-WABEL, M. I.; HUSSAIN, Q.; USMAN, A. R. A.; AHMAD, M.; ABDULJABBAR, A.; SALLAM, A. S.; OK, Y. S. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. **Land Degradation & Development**, [s. l.], v. 29, n. 7, p. 2124–2161, 2018.
- AMIN, F. R.; HUANG, Y.; HE, Y.; ZHANG, R.; LIU, G.; CHEN, C. Biochar applications and modern techniques for characterization. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 1457–1473, 2016.
- ANTONJIOUS, G. F. The Impact of Organic, Inorganic Fertilizers, and Biochar on Phytochemicals Content of Three Brassicaceae Vegetables. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 13, n. 15, p. 8801, 2023.

- ANTONJIOUS, G. F.; TURLEY, E. T.; DAWOOD, M. Monitoring Soil Enzymes Activity Before and After Animal Manure Application. **Agriculture**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 166, 2020.
- AYAZ, M.; FEIZIENĖ, D.; TILVIKIENĖ, V.; AKHTAR, K.; STULPINAITĖ, U.; IQBAL, R. Biochar Role in the Sustainability of Agriculture and Environment. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1330, 2021.
- BAKSHI, S.; BANIK, C.; LAIRD, D. A.; SMITH, R.; BROWN, R. C. Enhancing Biochar as Scaffolding for Slow Release of Nitrogen Fertilizer. **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, [s. l.], v. 9, n. 24, p. 8222–8231, 2021.
- BEUSCH, C. Biochar as a Soil Ameliorant: How Biochar Properties Benefit Soil Fertility—A Review. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, [s. l.], v. 09, n. 10, p. 28–46, 2021.
- BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 81, n. 4, p. 687–711, 2017.
- BOLAN, N.; HOANG, S. A.; BEIYUAN, J.; GUPTA, S.; HOU, D.; KARAKOTI, A.; JOSEPH, S.; JUNG, S.; KIM, K.-H.; KIRKHAM, M. B.; KUA, H. W.; KUMAR, M.; KWON, E. E.; OK, Y. S.; PERERA, V.; RINKLEBE, J.; SHAHEEN, S. M.; SARKAR, B.; SARMAH, A. K.; SINGH, B. P.; SINGH, G.; TSANG, D. C. W.; VIKRANT, K.; VITHANAGE, M.; VINU, A.; WANG, H.; WIJESEKARA, H.; YAN, Y.; YOUNIS, S. A.; VAN ZWIETEN, L. Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. **International Materials Reviews**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 150–200, 2022.
- DARFIS, I.; MAULANA, A.; PRASETYO, T. B.; LITA, A. L.; HERVIYANTI. Surface Charge Characteristics of Inceptisols Ameliorated With Biochar From Young Coconut Waste. **Iop Conference Series Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 1182, n. 1, p. 012034, 2023.
- DAS, S.; MOHANTY, S.; SAHU, G.; RANA, M.; PILLI, K. Biochar: A Sustainable Approach for Improving Soil Health and Environment. Em: VIEIRA, A.; CARLOS RODRIGUES, S. (Eds.). **Soil Erosion - Current Challenges and Future Perspectives in a Changing World**. [s.l.]: IntechOpen, 2021.
- DEKA, K.; HAZARIKA, P.; MEDHI, B. K.; BORAH, R.; KANDALI, G. G.; GOGOI, B. Characterization of Biochars and Their Application Rates on Soil Moisture Retention in Light Textured Soil of Assam. **International Research Journal of Pure and Applied Chemistry**, [s. l.], p. 1–9, 2019.
- DOTANIYA, M. L.; MEENA, M. D.; CHOUDHARY, R. L.; MEENA, M.; MEENA, V. D.; SINGH, H.; LAKARIA, B. L.; JAT, R. S.; RAMESHA, K. P.; KUMAR, K.; DOUTANIYA, R. K.; SINGH, H. Dynamics of Major Plant Nutrients and Enzymatic Activities in Soil Influenced by Application of Biochar and Organic Waste. **Plos One**, [s. l.], v. 19, n. 10, p. e0307487, 2024.
- EDEH, I. G.; MASEK, O. **The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties**. **EUROPEAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE** 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ USA WILEY, 2022.

- ELANGOVAN, R.; RANGASAMI, S. R. S.; MURUGARAGAVAN, R.; SEKARAN, N. C. Influence of Biochar on Soil Available Nutrient Contents in Cropping Sequence (Cotton-Maize-Mowpea). **International Journal Plant Sciences**, [s. l.], v. 17, n. OCAEBGD, p. 36–49, 2022.
- EL-NAGGAR, A.; LEE, S. S.; AWAD, Y. M.; YANG, X.; RYU, C.; RIZWAN, M.; RINKLEBE, J.; TSANG, D. C. W.; OK, Y. S. **Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils**GEODERMARADARWEG 29, 1043 NX AMSTERDAM, NETHERLANDSEELSEVIER, 2018.
- FIDEL, R. B.; LAIRD, D. A.; PARKIN, T. B. Impact of Six Lignocellulosic Biochars on C and N Dynamics of Two Contrasting Soils. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 9, n. 7, p. 1279–1291, 2017.
- GE, Y.; PRIESTER, J. H.; MORTIMER, M.; CHANG, C. H.; JI, Z.; SCHIMEL, J. P.; HOLDEN, P. A. Long-Term Effects of Multiwalled Carbon Nanotubes and Graphene on Microbial Communities in Dry Soil. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 50, n. 7, p. 3965–3974, 2016.
- GELARDI, D. L.; PARIKH, S. J. Soils and Beyond: Optimizing Sustainability Opportunities for Biochar. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 18, p. 10079, 2021.
- GUO, M.; HE, Z.; UCHIMIYA, S. M. Introduction to Biochar as an Agricultural and Environmental Amendment. Em: GUO, M.; HE, Z.; UCHIMIYA, S. M. (Eds.). **SSSA Special Publications**. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 2015. p. 1–14.
- HOSSAIN, M. Z.; BAHAR, M. M.; SARKAR, B.; DONNE, S. W.; OK, Y. S.; PALANSOORIYA, K. N.; KIRKHAM, M. B.; CHOWDHURY, S.; BOLAN, N. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. **Biochar**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 379–420, 2020.
- HUANG, K.; ZHANG, J.; TANG, G.; BAO, D.; WANG, T.; KONG, D. Impacts and mechanisms of biochar on soil microorganisms. **Plant, Soil and Environment**, [s. l.], v. 69, n. 2, p. 45–54, 2023.
- HUI, D. Effects of Biochar Application on Soil Properties, Plant Biomass Production, and Soil Greenhouse Gas Emissions: A Mini-Review. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 03, p. 213–236, 2021.
- JINDO, K.; AUDETTE, Y.; HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; AKASHI, K.; MASTROLONARDO, G.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; MONDINI, C. Role of Biochar in Promoting Circular Economy in the Agriculture Sector. Part 1: A Review of the Biochar Roles in Soil N, P and K Cycles. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, [s. l.], v. 7, n. 1, 2020.
- KHATER, E.-S.; BAHNASAWY, A.; HAMOUDA, R.; SABAHY, A.; ABBAS, W.; MORSY, O. M. Biochar production under different pyrolysis temperatures with different types of agricultural wastes. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 2625, 2024.

- KUMAR, A.; SCHREITER, I. J.; WEFER-ROEHL, A.; TSECHANSKY, L.; SCHÜTH, C.; GRABER, E. R. Production and Utilization of Biochar From Organic Wastes for Pollutant Control on Contaminated Sites. Em: **Environmental Materials and Waste**. [s.l.]: Elsevier, 2016. p. 91–116.
- LIU, M.; LINNA, C.; MA, S.; MA, Q.; SONG, W.; SHEN, M.; SONG, L.; CUI, K.; ZHOU, Y.; WANG, L. Biochar combined with organic and inorganic fertilizers promoted the rapeseed nutrient uptake and improved the purple soil quality. **Frontiers in Nutrition**, [s. l.], v. 9, p. 997151, 2022.
- LU, H.; WANG, Y.; LIU, Y.; WANG, Y.; HE, L.; ZHONG, Z.; YANG, S. Effects of Water-Washed Biochar on Soil Properties, Greenhouse Gas Emissions, and Rice Yield. **CLEAN – Soil, Air, Water**, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 1700143, 2018.
- MACCARTHY, D. S.; DARKO, E.; NARTEY, E. K.; ADIKU, S. G. K.; TETTEY, A. **Integrating Biochar and Inorganic Fertilizer Improves Productivity and Profitability of Irrigated Rice in Ghana, West Africa**. **AGRONOMY-BASELST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLANDMDPI**, , 2020.
- MAHMOOD SHAKER, B.; M. FENJAN, R. CHARACTERAZATION OF BIO-CHAR PRODUCED FROM SESBANIA STEMS (SESBANIA GRANDIFLORA). **Journal of Engineering and Sustainable Development**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 204–212, 2023.
- MAJEWSKA, M.; HANAKA, A. Biochar in the Bioremediation of Metal-Contaminated Soils. **Agronomy**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 273, 2025.
- MARAT, A. K. Development of Biochar to Improve Soil Health and Increase Potato Yields. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 225–230, 2023.
- MULINARI, J.; JUNIOR, F. W. R.; DE OLIVEIRA, C. R. S.; DA SILVA JÚNIOR, A. H.; SCARIOT, M. A.; RADÜNZ, L. L.; MOSSI, A. J. Biochar as a Tool for the Remediation of Agricultural Soils. Em: THAPAR KAPOOR, R.; TREICHEL, H.; SHAH, M. P. (Eds.). **Biochar and its Application in Bioremediation**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2021. p. 281–303.
- NABAVINIA, F.; EMAMI, H.; ASTARAE, A.; LAKZIAN, A. Effect of Tannery Wastes and Biochar on Soil Chemical and Physicochemical Properties and Growth Traits of Radish. **International Agrophysics**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 333–339, 2015.
- PALANIVELL, P.; AHMED, O. H.; LATIFAH, O.; ABDUL MAJID, N. M. Adsorption and Desorption of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, and Soil Buffering Capacity Following Application of Chicken Litter Biochar to an Acid Soil. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 295, 2019.
- PALVIAINEN, M.; HANSEN, K. H.; LAURÉN, A. Biochar in forestry. Em: **Forest Microbiology**. [s.l.] : Elsevier, 2025. p. 189–198.

- PARMAR, S.; DAKI, S.; SHRIVASTAV, A. Application of Biochar for Soil Remediation. Em: THAPAR KAPOOR, R.; TREICHEL, H.; SHAH, M. P. (Eds.). **Biochar and its Application in Bioremediation**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2021. p. 455–471.
- PREMALATHA, R. P.; POORNA BINDU, J.; NIVETHA, E.; MALARVIZHI, P.; MANORAMA, K.; PARAMESWARI, E.; DAVAMANI, V. A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. **Frontiers in Energy Research**, [s. l.], v. 11, p. 1092637, 2023.
- RATHEE, T.; SINDHU, K.; KUMARI, S.; DHANIA, G. Applications of Biochar from Marine Algae for Treatment of Emerging Contaminants. Em: THAPAR KAPOOR, R.; RAFATULLAH, M.; ISMAIL, N. (Eds.). **Marine Biomass**. [s.l.]: De Gruyter, 2024. p. 389–402.
- RAZZAGHI, F.; OBOUR, P. B.; ARTHUR, E. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. **Geoderma**, [s. l.], v. 361, p. 114055, 2020.
- RIAZ, M.; KHAN, M.; ALI, S.; KHAN, M. D.; AHMAD, R.; KHAN, M. J.; RIZWAN, M. Sugarcane waste straw biochar and its effects on calcareous soil and agronomic traits of okra. **Arabian Journal of Geosciences**, [s. l.], v. 11, n. 23, p. 752, 2018.
- SCHMIDT, H. P.; KAMMANN, C.; HAGEMANN, N.; LEIFELD, J.; BUCHELI, T. D.; SÁNCHEZ MONEDERO, M. A.; CAYUELA, M. L. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 1708–1730, 2021.
- SILVA, I. C. B. D.; BASÍLIO, J. J. N.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R. A.; FRAZÃO, L. A. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 74, n. 5, p. 378–382, 2017.
- SINGH, H.; NORTHUP, B. K.; RICE, C. W.; PRASAD, P. V. V. Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis. **Biochar**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 8, 2022.
- SMEBYE, A. B.; ALLING, V.; VOGT, R. D.; GADMAR, T. C.; MULDER, J.; CORNELISSEN, G.; HALE, S. E. Biochar Amendment to Soil Changes Dissolved Organic Matter Content and Composition. **Chemosphere**, [s. l.], v. 142, p. 100–105, 2016.
- SRIVASTAVA, P.; GADI, Y.; SUPRIYA; BHOJENDRA; LYTAND, W.; SINGH, B. V.; KATIYAR, D. Biochar's Influence on Soil Microorganisms: Understanding the Impacts and Mechanisms. **International Journal of Plant & Soil Science**, [s. l.], v. 35, n. 18, p. 455–464, 2023.
- SUN, J.; LU, X.; WANG, S.; TIAN, C.; CHEN, G.; LUO, N.; ZHANG, Q.; LI, X. Biochar Blended with Nitrogen Fertilizer Promotes Maize Yield by Altering Soil Enzyme Activities and Organic Carbon Content in Black Soil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 4939, 2023.
- SUSHKOVA, S.; MINKINA, T.; DUDNIKOVA, T.; BARBASHEV, A.; POPOV, Y. V.; RAJPUT, V. D.; BAUER, T.; NAZARENKO, O.; KIZILKAYA, R. Reduced Plant Uptake of PAHs From Soil Amended With Sunflower Husk Biochar. **Eurasian Journal of Soil Science (Ejss)**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 269–277, 2021.

- TOMCZYK, A.; SOKOŁOWSKA, Z.; BOGUTA, P. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 191–215, 2020.
- TRIPPE, K. M.; GRIFFITH, S. M.; BANOWETZ, G. M.; WHITAKER, G. W. Changes in Soil Chemistry Following Wood and Grass Biochar Amendments to an Acidic Agricultural Production Soil. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 107, n. 4, p. 1440–1446, 2015.
- VERHEIJEN, F. G. A.; ZHURAVEL, A.; SILVA, F. C.; AMARO, A.; BEN-HUR, M.; KEIZER, J. J. The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. **Geoderma**, [s. l.], v. 347, p. 194–202, 2019.
- WANG, C. Production of biochar from renewable resources. Em: **Advanced Technology for the Conversion of Waste into Fuels and Chemicals**. [s.l.] : Elsevier, 2021. p. 273–287.
- XIANG, Y.; DENG, Q.; DUAN, H.; GUO, Y. Effects of biochar application on root traits: a meta-analysis. **GCB Bioenergy**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 1563–1572, 2017.
- XU, L.; WU, K.-C.; DENG, Z.-N.; HUANG, C.-M.; VERMA, K. K.; PANG, T.; HUANG, H.-R. Biochar and its impact on soil profile and plant development. **Journal of Plant Interactions**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 2401356, 2024.
- YILDIZLI, G.; CORAL, G.; AYAZ, F. Biochar as a Biocompatible Mild Anti-Inflammatory Supplement for Animal Feed and Agricultural Fields. **Chemistry & Biodiversity**, [s. l.], v. 18, n. 6, 2021.
- ZHANG, Y.; LI, Z.; MAHMOOD, I. B. Effects of Corn Cob Produced Biochars on Urea Recovery From Human Urine and Their Application as Soil Conditioners. **Clean - Soil Air Water**, [s. l.], v. 43, n. 8, p. 1167–1173, 2015.
- ZHOU, H.; BROWN, R. C.; WEN, Z. Biochar as an Additive in Anaerobic Digestion of Municipal Sludge: Biochar Properties and Their Effects on the Digestion Performance. **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 16, p. 6391–6401, 2020.
- ZHU, Z.; ZHANG, Y.; TAO, W.; ZHANG, X.; XU, Z.; XU, C. The Biological Effects of Biochar on Soil's Physical and Chemical Characteristics: A Review. **Sustainability**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 2214, 2025.

# CAPÍTULO XX

## BIODIGESTOR: TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL PARA A SUINOCULTURA MODERNA

### BIODIGESTER: SUSTAINABLE TECHNOLOGY FOR MODERN SWINE FARMING

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-20

Francisco Carlos de Sousa <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professor EBTT, Doutor em Ciências Veterinárias. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE *Campus Umirim*.

#### RESUMO

A suinocultura, apesar de seu papel essencial na cadeia produtiva de proteínas animais, enfrenta desafios ambientais significativos devido à grande produção de dejetos. Nesse contexto, o uso de biodigestores surge como solução sustentável e eficaz para o aproveitamento econômico desses resíduos, promovendo a geração de biogás e biofertilizante. Este capítulo apresenta uma revisão sobre o funcionamento dos biodigestores, destacando as características técnicas e vantagens dos modelos chinês, indiano e canadense. Também são abordados os subprodutos da biodigestão anaeróbia, com ênfase nos benefícios ambientais, econômicos e produtivos do biogás e do biofertilizante. Além de contribuir para a mitigação dos impactos ambientais da suinocultura, os biodigestores proporcionam economia de energia e insumos agrícolas, consolidando-se como tecnologia estratégica para a sustentabilidade e competitividade do setor. A correta operação e o monitoramento dos sistemas são fundamentais para garantir os benefícios esperados e a conformidade com as normas ambientais. Assim, os biodigestores representam uma alternativa promissora para a gestão de resíduos na suinocultura, aliando produtividade, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica, e contribuindo para o desenvolvimento rural sustentável.

**Palavras-chave:** Biodigestão anaeróbia. Biogás. Biofertilizante. Suínos.

#### ABSTRACT

Swine farming, despite its essential role in the animal protein production chain, faces significant environmental challenges due to the high volume of waste it generates. In this context, the use of biodigesters emerges as a sustainable and effective solution for the economic utilization of this waste, enabling the production of biogas and biofertilizer. This chapter reviews biodigesters functioning, highlighting the technical characteristics and advantages of the Chinese, Indian, and Canadian models. It also discusses the byproducts of anaerobic digestion, emphasizing the environmental, economic, and productive benefits of biogas and biofertilizer. In addition to mitigating the environmental impact of swine farming, biodigesters reduce energy and agricultural input costs, establishing themselves as a strategic technology for the sector's sustainability and competitiveness. Proper operation and monitoring of the systems are essential to ensure the expected benefits and compliance with environmental regulations. Thus, biodigesters represent a promising alternative for waste management in swine farming, combining productivity, environmental sustainability, and economic viability, while contributing to sustainable rural development.

**Keywords:** Anaerobic digestion. Biogas. Biofertilizer. Swine.



## 1. INTRODUÇÃO

A carne suína é a fonte de proteína animal mais consumida em todo o mundo, com sabor diferenciado e marcante. Para que a produção seja suficiente para alimentar todos os brasileiros e ainda exportar para todos os continentes, o Brasil conta com uma cadeia produtiva organizada e voltada para a qualidade da carne. O Brasil hoje é o quarto maior produtor e exportador de carne suína no mundo, atrás somente da China, União Europeia e Estados Unidos. O desempenho brasileiro é significativo quando comparado com a média mundial e essa trajetória está ancorada em mudanças organizacionais e no contínuo incremento tecnológico (EMBRAPA, 2025).

Apesar de bastante produtiva, a suinocultura é uma atividade que produz grande quantidade de dejetos, chegando a ser tida como uma “fábrica de inconveniências”, devido ao seu potencial poluidor. Em alguns países europeus, por exemplo, a implantação de novas granjas suínolas de grande magnitude está abolida, em decorrência da preocupação com o impacto ambiental gerado pela atividade. No Brasil, novos projetos envolvendo a criação de suínos são permitidos, mas o produtor deve estar cada vez mais atento à legislação que rege as normas referentes ao manejo adequado de dejetos. É preciso produzir de forma sustentável e utilizar tecnologias que possam mitigar os efeitos gerados ao ambiente.

Por muito tempo o meio ambiente foi relegado ao segundo plano e não recebeu a devida atenção. Antes do surgimento de leis, os dejetos animais eram lançados em rios e lagoas de forma indiscriminada, contaminando os cursos d’água. Mas isso não é mais possível. É preciso zelar pelo nosso planeta hoje, e este cuidado com o meio ambiente não deve ocorrer somente para cumprir leis, ele deve estar na consciência de todos; a gestão ambiental deve fazer parte de qualquer empreendimento relacionado à produção animal, não somente à suinocultura.

Vale destacar que existem formas bastante eficientes e ambientalmente corretas para a destinação dos resíduos da indústria animal e uma que se destaca é a reciclagem por meio da biodigestão. Neste contexto, o biodigestor apresenta-se como umas das melhores práticas para destinação de resíduos orgânicos. Além disso, é uma saída rentável para o produtor que quer estar em dia com a legislação pertinente.

Os primeiros biodigestores produzidos no mundo foram inventados em 1806 na Inglaterra por Humphrey Davy, quando este identificou um gás rico em carbono e dióxido de

carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. No Brasil, a história do biodigestor se iniciou com a crise do petróleo da década de 70. Em novembro de 1979, na Granja do Toro em Brasília, foi construído um dos primeiros biodigestores do país. O projeto instalado na sede do governo foi importante porque demonstrou ser possível instalar uma unidade produtora de biogás com a utilização de material simples e de baixo custo, além disso incentivou o próprio governo no início da década de 80, no contexto do Programa de Mobilização Energética – PME), a estimular a sua instalação em propriedades rurais. Na época foram instalados cerca de 7 mil biodigestores nas regiões sul, sudeste e centro-oeste. No entanto, problemas operacionais em especial a falta de informações e treinamento tornaram o sistema de baixa eficiência, fazendo com que muitos produtores rurais abandonassem a tecnologia. Este foi o primeiro ciclo de utilização do biogás no Brasil (BGS equipamentos, 2025).

O biodigestor faz com que os dejetos passem por um processo de decomposição da matéria orgânica bruta, pela ação bacteriana, por um processo anaeróbio. O biogás proveniente do processo de fermentação, na ausência de oxigênio, a partir dos dejetos dos suínos é constituído em sua maior parte pelo metano ( $\text{CH}_4$ ), um dos principais causadores do efeito estufa. O metano tem um potencial energético 21 vezes mais nocivo à atmosfera que o gás carbônico. Esse gás, resultado da digestão anaeróbia, pode ser reaproveitado na geração de energia elétrica (SCHULTZ, 2007).

Assim, os biodigestores mostram-se uma alternativa viável para tratamento de dejetos de suínos, fornecendo melhorias nas condições ambientais, além de apresentarem-se como uma fonte de renda para os produtores por meio da geração de biogás e biofertilizante. Assim, este capítulo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre o funcionamento do biodigestor, os principais tipos de biodigestor e seus subprodutos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Os suínos produzem em média 6,7 kg de dejetos/dia/100 kg de peso vivo; seus dejetos são 100 vezes mais poluentes que o esgoto urbano e representam grande problema ambiental, por serem altamente poluidores, no Brasil se conclui que cada matriz, em uma granja de ciclo completo, produz até 25 m<sup>3</sup> (25.000 L). A Tabela 1 mostra a produção média diária de esterco e dejetos líquidos por animal e por fase de desenvolvimento. O elevado

volume e elevada carga orgânica e patogênica dos dejetos de suínos, deve-se, aos fatores: baixa conversão alimentar; ração concentrada em proteínas; adição na ração de cobre (promove crescimento), zinco (reduz diarreias) e sódio (evita canibalismo, aumenta consumo ração); desperdício de água em bebedouros e lavagens das baias; fornecimento de água, e restos de alimento/resíduos contaminados (BERTONCINI, 2011).

Tabela 1 – Produção média diária de esterco (kg) e dejetos líquidos (L), por suíno e por fase.

<b>Categoria de suínos</b>	<b>Esterco (kg)</b>	<b>Dejetos líquidos (L)</b>
25-100 kg	2,30	7,00
Porca em gestação	3,60	16,00
Porca em lactação	6,40	27,00
Macho	3,00	9,00
Leitão desmamado	0,35	1,40
Média	2,35	8,6

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 1993.

Os biodigestores são equipamentos utilizados para a produção de biogás. Esses equipamentos são constituídos de uma câmara fechada, onde é colocado o material orgânico (esterco, restos de alimentos e etc.) em solução aquosa (água), onde esse material sofre decomposição através de um processo anaeróbico (processo em que não há presença de oxigênio), e de acordo com que a decomposição vai ocorrendo, vai se gerando o biogás e, esse biogás vai se acumulando na parte superior da câmara do biodigestor e, de acordo com que o gás vai se acumulando, vai se abrindo a válvula do biodigestor e vai se armazenando o biogás e um tanque ou em um vaso de pressão (MENDES, 2012).

A Figura 1 ilustra o funcionamento do biodigestor. Basicamente, o biodigestor deve ser alimentado periodicamente com matéria orgânica e água suficiente para sua capacidade. Contudo, é importante que deixe livre 25% do volume do equipamento para a acumulação do gás produzido. Os resíduos orgânicos devem ser triturados ou reduzidos ao menor tamanho possível. A mistura correta para um bom funcionamento do biodigestor é 50% de água e 50% de resíduo orgânico. A mistura deve ser agitada periodicamente para garantir a homogeneidade do processo de fermentação. O tempo de retenção dos resíduos no biodigestor para atingir sua fermentação total deve ser controlado. Para isso, é necessário observar o tipo de resíduo orgânico utilizado e a temperatura ambiente. Quanto mais alta a temperatura ambiente, mais rápida será a fermentação.

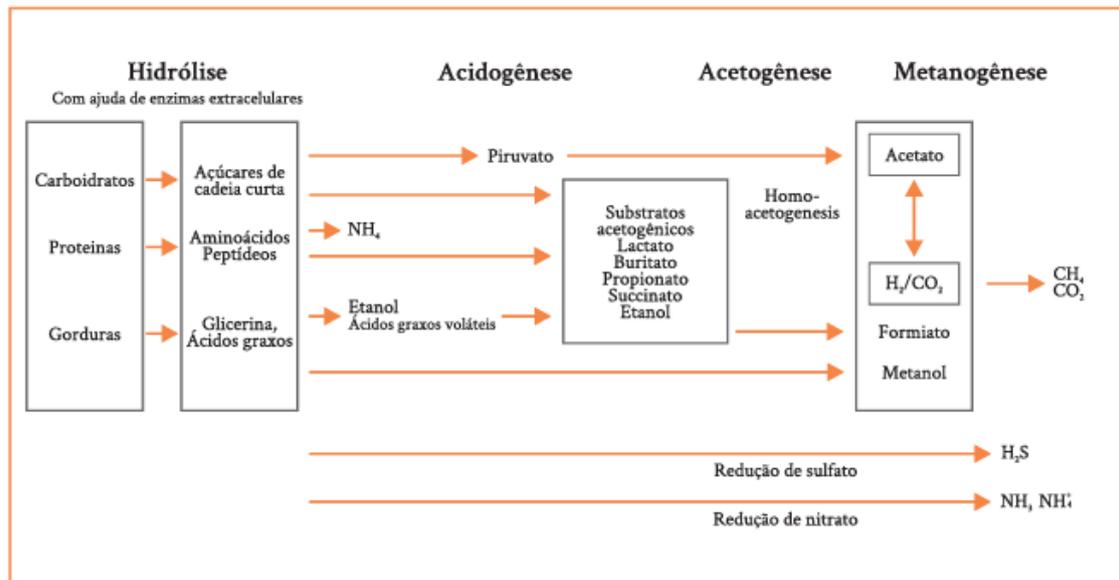
Figura 1 – Esquema representativo de como funciona um biodigestor.



Fonte: MENDES, 2012.

O processo de biodigestão pode ser dividido em quatro fases, sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Cada etapa é realizada por diferentes grupos de microrganismos, em simbiose, e podem requerer diferentes condições ambientais (Figura 2). A etapa da hidrólise degrada compostos de alta massa molecular como os lipídios, polissacarídeos e proteínas em substâncias orgânicas mais simples (monômeros) e solúveis. Esse processo ocorre pela ação de enzimas extracelulares excretadas pelas bactérias hidrolíticas. Os monômeros formados na fase hidrolítica são utilizados como substratos por diferentes bactérias anaeróbias e facultativas, sendo degradados na fase acidogênica a ácidos orgânicos de cadeia curta, moléculas com 1 a 5 carbonos (ex. ácidos butírico, propionico e acético), álcoois, óxidos de nitrogênio, sulfeto de hidrogênio, hidrogênio e dióxido de carbono. Na acetogênese, as moléculas formadas na etapa anterior são quebradas em moléculas ainda menores, convertendo o material degradado em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. A etapa final do processo é a metanogênese, na qual as bactérias metanogênicas transformam os subprodutos da fase anterior em metano (CH<sub>4</sub>), o principal componente do biogás. É essa fase que confere ao biogás seu potencial energético, tornando-o um combustível renovável eficiente (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019).

Figura 2 – Processos de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.



Fonte: Adaptado de Deublein e Steinhauser (2011).

## 2.2. TIPOS DE BIODIGESTOR

### 2.2.1. Chinês

Esse modelo de biodigestor (Figura 3) foi inventado pelos chineses em 1936. O conceito chinês do biodigestor, de pequeno porte e de baixo custo, possibilita sua construção com materiais encontrados na região, de fácil construção e operação, impõe uma reavaliação à ideia de que esta tecnologia só é viável para grandes unidades rurais (SILVA, 1987). Conforme descrito por Mendes (2012), o biodigestor modelo chinês não possui gasômetro. Este biodigestor é construído totalmente enterrado no solo, é feito de alvenaria de tijolos e possui teto em forma de abóboda, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. O custo de construção é inferior ao modelo indiano por não necessitar de gasômetro e por utilizar materiais de menor custo. Este tipo de biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que o aumento da pressão em seu interior é resultante do acúmulo de biogás, e resulta em um deslocamento de efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre a descompressão do equipamento.

O modelo chinês é constituído quase que totalmente em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, o que reduz os custos, contudo ainda tem chance de ocorrer alguns problemas como o vazamento do biogás, caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor, uma parcela do gás formado na caixa de saída acaba sendo liberada para a atmosfera, reduzindo assim parcialmente a pressão interna do

gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte, sendo principalmente indicado para propriedades familiares. A alimentação desse biodigestor é bem parecida com a do modelo indiano, sendo a matéria orgânica fornecida continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimento do sistema de entrada e facilitar a circulação do material no biodigestor (BARROS, 2021).

Figura 3 – Biodigestor chinês.



Fonte: MENDES, 2012.

### 2.2.2. Indiano

Conforme noticiado pela Empresa Mato-Grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) em 2021, o biodigestor indiano é um sistema de baixo custo, com investimento de aproximadamente R\$ 5 mil àquela época, fácil implantação e simples na operação, mostrando-se assim, como a melhor opção para um produtor na cidade de Jangada (a 80 quilômetros de Cuiabá). O objetivo foi a destinação correta e o tratamento de dejetos de resíduos da criação de suínos, através de um sistema que oportuniza a sustentabilidade ambiental, através do subproduto extraído do biodigestor: biofertilizante e biogás; este último pode ser convertido em energias térmica e elétrica.

O biodigestor indiano (Figura 4) tem o formato de um poço e se movimenta de cima para baixo de acordo com a produção do biogás. Ocupa pouco espaço e a construção é subterrânea com caixas de entrada para abastecer o biodigestor e uma caixa de saída da biomassa e biofertilizante, utilizadas para abastecimento de dejetos e retirada do biofertilizante, respectivamente.

Dias (2012), estudando a viabilidade econômica da implantação de biodigestor modelo indiano em granjas suínícolas de pequeno porte, concluiu que por meio do processo de biodigestão anaeróbia, o equipamento agrega valor à atividade, evidenciado pelo benefício financeiro gerado com a substituição do fertilizante químico, pelo tempo de retorno do investimento, além dos benefícios ambientais promovidos pelo adequado tratamento dos dejetos.

Figura 4 – Biodigestor indiano.

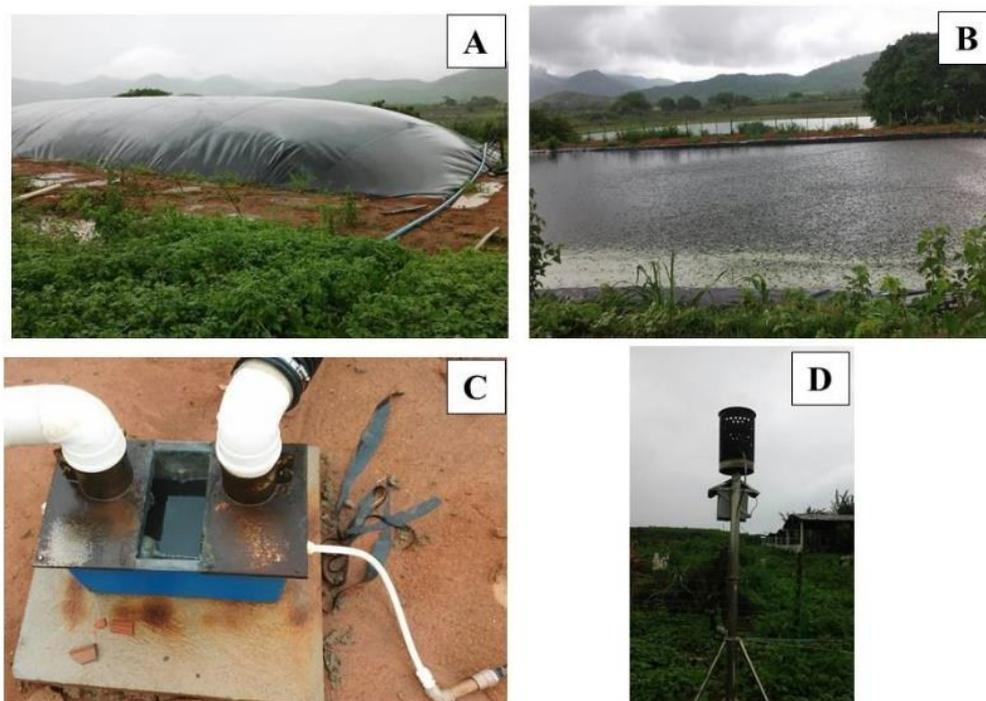


Fonte: Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural - EMPAER, 2021.

### 2.2.3. Canadense

Também chamado de biodigestor da Marinha, é um modelo do tipo horizontal, que possui a largura maior que a profundidade, apresentando área de exposição ao sol maior, e, conseqüentemente, maior produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de gás, como um balão. Pode ser construído enterrado ou não. Esse modelo com cobertura em lona de PVC (Figura 5), em substituição às campânulas (metálica ou fibra de vidro), vem ganhando maior espaço em virtude dos menores custos e facilidade de implantação. A cúpula pode ser retirada, o que ajuda na limpeza. A vantagem desse processo está na produção constante de biogás que é relacionado com a carga diária de sólidos voláteis (TORRES; PEDROSA; MOURA, 2012).

Figura 5 – Biodigestor canadense localizado em Redenção, Maciço de Baturité, Ceará: A) Biodigestor canadense (200 m<sup>3</sup>), B) Lagoa de estabilização para armazenar o biofertilizante, C) Filtro de água e D) Saída do biogás.



Fonte: ALCÓCER et al., 2020.

No meio rural os biodigestores são uma tecnologia importante para o tratamento de dejetos de ovinos, caprinos, bovinos, equinos, suínos e caninos. O dimensionamento do equipamento deve ser realizado de acordo com o número de animais da propriedade, podendo ser utilizado tanto em estabelecimentos familiares que detêm plantéis menores, quanto em criações industriais. Um biodigestor canadense de 10 m<sup>3</sup>, por exemplo, permite o tratamento de dejetos de aproximadamente 50 suínos, 20 vacas de leite, 15 cavalos, 50 ovelhas ou cabras, 20 búfalos ou 450 cães.

O biodigestor canadense apresenta diversas vantagens como praticidade e fácil instalação, no mercado existem equipamentos que dispensam a presença de um técnico especializado para sua instalação e podem ser instalados em um dia; reciclagem da matéria orgânica e dejetos de animais; dedução da poluição ao meio ambiente; obtenção de gás metano e adubo orgânico; e redução de custo com energia elétrica e custos na produção agrícola.

Avaliando a utilização de um biodigestor modelo canadense, com capacidade de 150 m<sup>3</sup>, em uma granja com 50 matrizes suínas, em ciclo completo, Kunz; Oliveira; Higarashi, (2005), verificaram que, apesar de eficiente na redução da carga orgânica, o biodigestor é

bastante limitado na redução de nutrientes, exigindo assim cuidados adicionais para evitar o lançamento de seu efluente em corpos d'água. Desta forma, o biodigestor canadense pode se beneficiar da utilização de uma lagoa de estabilização como etapa complementar de tratamento do efluente.

## 2.3. SUBPRODUTOS DA BIODIGESTÃO

### 2.3.1. Biogás

O biodigestor, além de produzir o biogás e o biofertilizante, consegue remover até 80% da carga orgânica dos dejetos, diminuir os odores e eliminar microrganismos causadores de doenças (BEZERRA et al., 2014). A capacidade de transformar o esterco animal em gás (biogás) inflamável, que pode substituir o gás de cozinha comprado em botijões (Gás Liquefeito de Petróleo ou GLP), é uma importante vantagem econômica do equipamento. O biogás é uma mistura de vários tipos de gases, sendo o principal componente do biogás o metano, que não tem odor, mas caso haja outros gases, são eliminados por meio de um processo simples de filtragem e podem ser facilmente eliminados da composição do biogás (MATTOS; FARIAS, 2011).

O biogás proveniente do processo de fermentação, na ausência de oxigênio, dos dejetos dos suínos é o metano ( $\text{CH}_4$ ), um dos principais causadores do efeito estufa, juntamente com o gás carbônico e sulfídrico. O metano tem um potencial energético 21 vezes mais nocivo à atmosfera que o gás carbônico. Esse gás, resultado da digestão anaeróbia, pode ser reaproveitado na geração de energia elétrica ou térmica (SCHULTZ, 2007).

Após produção, o biogás fica retido na porção superior do biodigestor, podendo ser direcionado a um queimador conectado ao registro de saída do biogás ou extraído através de tubos para cilindros de armazenamento. O uso do biogás na cozinha é higiênico, não gera fumaça e não deixa resíduos nas panelas. Terminada a fermentação, o biofertilizante (uma mistura de sólidos e líquidos) pode ser canalizado para uma esterqueira ou tanque de armazenagem (MATTOS; FARIAS, 2011).

A localização do biodigestor deve ser feita de maneira a facilitar a distribuição do biogás pela propriedade, diminuindo os custos com armazenamento e transporte do gás. Instalar o biodigestor atrás do local de manejo é uma opção atraente, de modo que o biogás fabricado pode ser utilizado diretamente no local, demandando menos tubulações e evitando perdas de gás (BARROS, 2021).

O uso do biogás gerado pelos dejetos de suínos em substituição de fontes de energia num assentamento rural foi estudado por Esperancini et al. (2007). Os autores avaliaram o uso domiciliar, o biogás foi aproveitado na cocção, aquecimento de água e iluminação. A economia anual foi de R\$ 3.698,00 e a recuperação do investimento ocorreu em dois anos e seis meses. Na produção, a energia foi utilizada em diversos equipamentos.

Tido como um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural, o biogás é composto, principalmente, por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Pode ser utilizado para a geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção.

No estudo realizado por Alcócer e colaboradores (2020), é relatado que o proprietário de uma criação com cerca 5 mil suínos por mês, em regime de engorda, investiu R\$ 200.000,00 para a instalação de um biodigestor canadense. A estimativa de energia elétrica que pode ser gerada e a economia que pode ser gerada usando o biogás ficam em torno de R\$ 15.000,00 por mês e por ano seria R\$ 180.000,00. Assim, em pouco mais de um ano foi possível obter o retorno do investimento, ressaltando o potencial econômico do equipamento.

### 2.3.2. Biofertilizante

O biofertilizante é um efluente líquido, resultante da biodigestão anaeróbia. Apresenta propriedades superiores ao esterco ou resíduo que lhe deu origem, pelo fato de que a biodigestão degrada a matéria orgânica em compostos mais disponíveis e com nutrientes parcialmente solubilizados, promovendo o restabelecimento do teor de húmus do solo (CORTEZ et al., 2008).

O biofertilizante é considerado um adubo orgânico, livre de agente causadores de doenças e pragas às plantas e contribui de forma significativa no reestabelecimento do teor de húmus no solo, funcionando como melhorador de suas propriedades químicas, físicas e biológicas, que tem importante papel na estruturação e fixação de nitrogênio atmosférico (OLIVEIRA, 1993).

O biofertilizante deixa a terra com a estrutura mais porosa, permitindo maior penetração do ar, na zona explorada pelas raízes, facilitando sua respiração, obtendo melhores condições de desenvolvimento da planta. O biofertilizante também favorece a proliferação bacteriana, dando vida ao solo. A intensa atividade das bactérias fixa o nitrogênio atmosférico transformando em sais aproveitáveis pelas plantas, além de auxiliar a fixação das

bactérias nas raízes das leguminosas. Além dessas atuações de valor inestimável, que aumenta muito a produtividade das lavouras, se o biodigestor for operado corretamente, o biofertilizante já está completamente curado quando sai do biodigestor. Não tem mais o perigo de fermentar, não possui odor, não é poluente e não estimula a proliferação de moscas e outros insetos. O poder germinativo das sementes de ervas daninhas fica eliminado com a biofermentação, não havendo perigo de infestações nas lavouras. (ANGONESE, 2006). Com seu elevado valor de pH, o biofertilizante atua corrigindo a acidez do solo, dificultando assim a multiplicação de fungos causadores de doenças para as plantações.

Assim como o biogás, o biofertilizante também gera economia, pois pode substituir parcial ou totalmente os adubos químicos e vem obtendo bons resultados no cultivo de cereais, pastagens e hortaliças. Porém, é importante salientar que é proibida, no Brasil, a aplicação de fertilizante proveniente de dejetos animais no cultivo de hortaliças que são ingeridas cruas (BARROS, 2021). Assim como o biogás, a quantidade de biofertilizante produzido dependerá do tamanho do biodigestor. Segundo a BGS equipamentos (2025), considerando um biodigestor de 10 m<sup>3</sup>, a produção mensal de adubo será de 10.000 litros, o que equivale a 60 kg de nitrogênio, 60 kg de fósforo e 30 kg de potássio. Em termos monetários estamos falando em uma economia de R\$ 250,00 a R\$ 300,00 por mês.

Apesar do uso vantajoso do biofertilizante, vale destacar que há um limite a ser observado. Com o passar do tempo, se os biofertilizantes forem sempre lançados no mesmo local, sem respeitar o balanço de nutrientes, poderão ocorrer excessos, levando à toxidez das plantas e à poluição ambiental. Portanto, é de suma importância que sejam feitas análises do solo e dos biofertilizantes (MAPA, 2016).

Em estudo realizado por Silva et al. (2016) com o uso de biodigestor indiano para degradação dos dejetos de suínos em uma pequena propriedade, localizada no município de Barreira-CE, a produção do biofertilizante começou aos 60 dias. Tais autores relatam ainda que a parte sólida do biofertilizante foi aplicada diretamente nas plantas, as quais aumentaram seus rendimentos com a produção de frutas, hortaliças e as plantas forrageiras apresentaram as folhas mais vigorosas (verde mais intenso) após 15 dias de sua utilização; já a parte líquida foi aplicada também nas plantas via fertirrigação e ainda serviu como defensivo natural para controle de algumas pragas e doenças.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente demanda por alimentos e a intensificação da produção animal impõem grandes desafios ambientais, especialmente no que diz respeito à gestão dos resíduos oriundos da suinocultura. Reconhecida por seu alto potencial poluidor, essa atividade necessita de soluções sustentáveis e economicamente viáveis para minimizar seus impactos. Nesse contexto, o biodigestor surge como uma alternativa eficaz, promovendo o aproveitamento econômico dos dejetos com a geração de biogás e biofertilizante, reduzindo a carga orgânica e microbiológica.

Os diferentes modelos de biodigestores apresentados nesta revisão — chinês, indiano e canadense — demonstram que há alternativas acessíveis tanto para pequenas propriedades quanto para sistemas industriais. Além dos benefícios ambientais, a tecnologia proporciona vantagens econômicas expressivas, como a redução de custos com a produção de biogás e biofertilizante. O primeiro pode ser utilizado em substituição ao gás de cozinha, transformado em energia elétrica ou térmica e o segundo pode contribuir para a sustentabilidade e competitividade da atividade suinícola.

Contudo, para que os benefícios sejam plenamente alcançados, é imprescindível a correta operação dos biodigestores, o monitoramento dos seus subprodutos e o respeito às normas ambientais vigentes. A adoção desta tecnologia não deve ser vista somente como uma exigência legal, mas como uma oportunidade estratégica de agregar valor à produção, respeitar o meio ambiente e promover o desenvolvimento rural sustentável.

Portanto, o uso de biodigestores representa um caminho promissor para aliar produtividade, responsabilidade ambiental e viabilidade econômica, reafirmando seu papel como tecnologia essencial para uma suinocultura moderna e comprometida com o futuro.

### REFERÊNCIAS

- ALCÓCER, J.C.A.; OLIVEIRA PINTO, O.R.; OLIVEIRA, J.; SILVA, M.E.D.; LIMA, A.C.A. Uso do biodigestor na suinocultura: uma alternativa à sustentabilidade ambiental na região do maciço de Baturité, Ceará. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 783-818, 2020.
- ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; ZACARKIM, C. E.; MATSUO, M. S. CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.

- AMARAL, A.C.; STEINMETZ, R.L.R.; KUNZ, A. O processo de biodigestão. In: KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do (Ed.). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 13-26. DOI - [https://dx.doi.org/10.21452/978-85-93823-01-5.2019.01\\_1](https://dx.doi.org/10.21452/978-85-93823-01-5.2019.01_1).
- BERTONCINI, E.I. Dejetos da suinocultura- Desafios para o uso agrícola. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 1-10, 2011.
- BEZERRA, K.L.P.; FERREIRA, A.H.C.; CARDOSO, E.S.; MONTEIRO, J.M.; AMORIM, I.S.; SANTANA JÚNIOR, H.A.; SILVA, R.N. Uso de biodigestores na suinocultura. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 11, n. 5, p. 3714-3722, 2014.
- BARROS, T.D. **Biodigestor chinês**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/chines#:~:text=O%20biodigestor%20modelo%20chin%C3%AAs%20foi,tamb%C3%A9m%20%C3%A9%20confeccionado%20em%20alvenaria.Acesso em: 13 de junho de 2025>.
- BGS equipamentos. **Biodigestor rural**. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/>. Acesso em: 03 jun. 2025.
- CORTEZ, L.A.B.; SILVA, A.; LUCAS JÚNIOR, J.; JORDAN, R.A.; CASTRO, L.R. Biodigestão anaeróbia. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; OLIVARES, E. (Orgs.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. p. 493-530.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: an introduction**. Wiley-VCH, 2011.
- DIAS, M.I.A. **Estudo da viabilidade econômica da implantação de biodigestor modelo indiano em granja de suínos de pequeno porte**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia). Universidade Federal de Minas Gerais, 74 f., 2012.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Qualidade da carne suína**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-suina>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- EMPAER. Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural. **Biodigestor indiano é opção de renda sustentável para produtor da agricultura familiar**. Disponível em: <https://www.empaer.mt.gov.br/-/18403018-biodigestor-indiano-e-opcao-de-renda-sustentavel-para-produtor-da-agricultura-familiar>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- ESPERANCINI, M.S.T.; COLEN, F.; BUENO, O.C.; PIMENTEL, A.E.B.; SIMON, E.J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 110-118, 2007.

- KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.A.V.; HIGARASHI, M.M. Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: influência da temperatura ambiente. **Comunicado Técnico 416**, EMBRAPA, 2005.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**. Tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. 1ª Ed. 2016, 96p.
- MATTOS, L.C.; FARIAS, M.J. **Manual do biodigestor sertanejo**. Projeto Manejo Sustentável de Terras no Sertão. Recife: Projeto Dom Helder Camara, p. 55, 2011.
- MENDES, P.H.C. Biodigestores contínuos e de batelada: funcionamento e vantagens. 2012. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- OLIVEIRA, P.A.V. (Coord.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA- CNPSA, 1993.
- SCHULTZ, G. **Boas Práticas Ambientais na Suinocultura**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007.
- SILVA, M.L. **Aplicabilidade de uma tecnologia sustentável no Município de Barreira do Maciço de Baturité**. [Dissertação]. Redenção: Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis/UNILAB; 2016. 76 p.
- SILVA, N.A. (1987). **Construção e operação de biodigestor – modelo chinês** (3a ed.). Brasília: Embrater.
- TORRES, A.; PEDROSA, J.F.; MOURA, J.P. 2012. **Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais**. Disponível em: <https://www.revistaea.org/pf.php?idartigo=1248>. Acesso em: 24 dez. 2021.

Alessandro Medeiros Pedro <sup>1</sup>  
Luiza Karla Soares Scarabelli <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doutorando em Biociências. Universidade Estadual Paulista - UNESP

<sup>2</sup> Graduanda em Zootecnia. Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

### RESUMO

Este estudo analisa o panorama da energia nuclear no Brasil, discutindo seu potencial como fonte energética estratégica e de baixa emissão de carbono. Frente à crescente demanda por eletricidade e aos desafios ambientais globais, torna-se urgente a diversificação da matriz energética nacional. A energia nuclear, embora não renovável, apresenta vantagens como alta densidade energética, fornecimento contínuo e baixa emissão de gases de efeito estufa. A pesquisa foi realizada por meio de revisão bibliográfica, com base em fontes nacionais e internacionais. São apresentados aspectos históricos da implementação da energia nuclear no país, sua importância na segurança energética e os principais desafios enfrentados, como os altos custos de implantação, o gerenciamento de rejeitos radioativos e a resistência da opinião pública. Também se discute a complementaridade da energia nuclear em relação às fontes renováveis, especialmente em momentos de escassez hídrica ou intermitência solar e eólica. Conclui-se que, apesar das limitações, a energia nuclear pode contribuir significativamente para uma transição energética mais segura e sustentável no Brasil, desde que acompanhada por investimentos em tecnologia, políticas públicas eficazes e conscientização social.

**Palavras-chave:** Energia nuclear. Sustentabilidade. Matriz energética. Baixo carbono. Brasil.

### ABSTRACT

This study analyzes the landscape of nuclear energy in Brazil, discussing its potential as a strategic and low-carbon energy source. Faced with the growing demand for electricity and global environmental challenges, the diversification of the national energy matrix becomes urgent. Although not renewable, nuclear energy offers advantages such as high energy density, continuous supply, and low greenhouse gas emissions. The research was conducted through a bibliographic review based on national and international sources. It presents the historical background of nuclear energy implementation in the country, its role in energy security, and the main challenges it faces, such as high installation costs, radioactive waste management, and public resistance. The study also discusses how nuclear energy complements renewable sources, especially during periods of drought or the intermittency of solar and wind energy. It concludes that, despite its limitations, nuclear energy can significantly contribute to a safer and more sustainable energy transition in Brazil, provided it is supported by technological investments, effective public policies, and social awareness.

**Keywords:** Nuclear energy. Sustainability. Energy matrix. Low carbon. Brazil.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios das civilizações, a humanidade emprega energia derivada de muitas fontes. O Brasil tem grande potencial para aproveitamento de energia nuclear inicialmente, esse sistema fornecia energia sustentável para atender às necessidades da população. O objetivo deste artigo é apresentar uma visão concisa da produção de energia nuclear no Brasil. Em encontro, os diversos tipos de recursos de energia renovável como a energia eólica e solar são firmemente reabastecidos e jamais se acabam. Considerando que está próximo o fim dos recursos naturais em decorrência do colapso ecológica contemporânea, o emprego de energia renovável se tornou um dos grandes desafios do novo século. Por meio deste estudo bibliográfico procura entender e explicar a importância da energia renovável e os efeitos.

O desenvolvimento da sociedade conduz em volta de energia adquirida e o seu consequente consumo. Com o progresso da produção de consumo em alto nível no mundo, apareceu nas últimas décadas uma apreensão muito enorme com os assuntos voltado ao meio ambiente. as energias renováveis surgem como opção para diminuir as consequências do colapso ambiental, contudo não tem a competência de suprir inteiramente a demanda atual de energia. O alvo deste estudo e pesquisa está voltado no entendimento do emprego da energia nuclear utilizada como um recurso energético empregados por empresas e indústrias no Brasil, avaliando os lucros do emprego da energia.

O consumo das energias renováveis e energéticas nas indústrias é um ato de total estratégica que necessita de um plano com objetivo de ter uma responsabilidade ambiental, bem como um amplo conhecimento relacionado aos recursos administrados (RODRIGUES, 2006).

No Brasil ainda que possua uma ampla extensão territorial e uma fartura na diversidade de recursos, existe uma espantosa dificuldade de abastecimento energético. A maior parte se encontra em regiões insuficientemente desenvolvidas, afastadas dos amplos centros consumidores e com intensas restrições ambientais (ANEEL, 2002).

Em meados dos anos 70 o mundo se encontrava em meio a crise do petróleo, esse marco na história fez com que eclodissem pesquisas com objetivos de encontrar fontes inesgotáveis, ou renováveis, para abastecimento de energia para população, outro fator que contribuiu consideravelmente para essas buscas é a preocupação com a preservação do meio

ambiente, de modo a reduzir os desastres ambientais que tem crescido quando comparados aos últimos anos.

Novas fontes de energias alternativas têm sido amplamente investigadas nas últimas décadas, como solução complementar a matriz energética atual, que baseia majoritariamente em hidráulica e biomassa. Estudos mais recentes apontam que uma energia que começou a ser utilizada em 1950 tem ganhado espaço e atenção no cenário nacional. O governo do Brasil, tenta suprir a crescente demanda de energia elétrica do país que se urbanizava aceleradamente, resolveu agir em duas vertentes: uma com a implantação do programa Proálcool e a outra investindo na geração de energia nuclear.

A conversão de energia solar em energia elétrica a partir do princípio do elemento fotovoltaico é uma das formas mais promissoras de energia alternativa, sabe-se que painéis fotovoltaicos podem ser os grandes responsáveis pelo aumento da produção de energia limpa em grandes centros, seja para demandas residenciais ou empresariais, ganham cada vez mais adeptos. Muitos autores acreditam que adotar geração própria de energia nuclear é uma decisão acertada e que garante eficiência à produção e redução de custos em médio e longo prazo (ZANESCO *et al.*, 2011).

Sendo assim, é notória a necessidade de buscar novas alternativas para tentar diversificar a matriz energética brasileira. Uma proposta é a utilização de fontes energéticas consideradas “limpas” que são as que menos contribuem para emissão de gases que compõem o efeito estufa. A energia nuclear é uma fonte geradora de energia elétrica que pode contribuir muito para essa mudança por apresentar a vantagem de não emitir substâncias que contribuem com o aquecimento global. (SAPUNARU *et al.*, 2014).

Em reatores de usinas nucleares, a fissão nuclear é a técnica mais usada para o uso de energia. O princípio por trás disso ocorre inicialmente quando uma fonte primária chamada bomba de nêutrons dispara um nêutron que, ao ser acelerado, colide com um elemento radioativo em um reator. Essa colisão torna o átomo de urânio instável e se divide em dois átomos menores, liberando energia ao se dividir (CARDOSO, 2012).

A reação em cadeia de sucessivas rachaduras no urânio dentro do reator começa com a queima do primeiro nêutron que colide com o átomo de urânio, depois a quebra desse primeiro urânio, que se dividirá em 2 elementos diferentes, liberando energia e mais nêutrons, que mais tarde colidir com outros átomos de urânio, quebrando-os, liberando energia e 2 nêutrons extras, iniciando assim a chamada reação em cadeia.

Durante algum tempo, parecia que a energia nuclear poderia ter um fim. Contudo, nos últimos anos, a situação mudou novamente, graças acima de tudo aos programas em grande escala de energia nuclear. O presente trabalho tenta mostrar as vantagens e desvantagens do uso da energia nuclear, visto que pode ser uma fonte bem interessante para diversificar o panorama do parque energético brasileiro.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

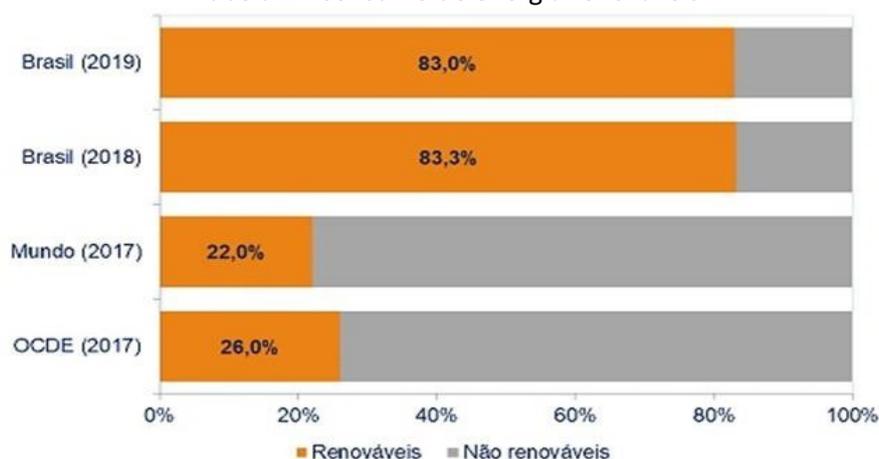
A definição da energia nuclear e seu panorama no Brasil serão brevemente apresentados. Esforçando-se para reduzir o consumo ambiental e social, motivado pela busca pela proteção integral dos recursos naturais. Essas energias são opções que não degradam a natureza, e entre as quais podemos citar a energia nuclear, essas energias ganham grande visibilidade. As fontes de pesquisa que fundamentaram este trabalho foram livros, artigos, anais de encontros do setor, artigos de revistas e periódico sobre o tema. Esta seção baseia-se em bibliografias para proporcionar um melhor entendimento dos conteúdos abordados.

A intensiva melhoria do setor de energia tornou-o muito competitivo. Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), a indústria de energias renováveis já gera mais empregos do que os combustíveis tradicionais e poluentes. Portanto, existe um incentivo para inovar, pesquisar e inventar novas tecnologias. A utilização de energia nuclear desenvolvidas por diversos países, como Alemanha, Japão, Estados Unidos da América, Espanha etc. No Brasil a inserção deste tipo de energia ainda é carente, sendo necessárias abordagens mais aprofundadas sobre o assunto (OLIVEIRA, 2002).

O Brasil tem um dos grandes potenciais energéticos do mundo, com volta de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, mais de 07 mil quilômetros de litoral e condições climáticas extremamente favoráveis (ANEEL, 2002).

O país tem sido um modelo mundial no emprego de energias renováveis. Segundo pesquisa, feita o setor energético é responsável por quase 10% de todo o consumo final de energia no país existe uma significativa precisão de energia e com isso a precisão de um elevado nível de segurança e de sustentabilidade energéticas (MME, 2004).

Tabela 1 - Consumo de energia renováveis



Fonte: Abrepto 2019

Nesse sentido, os países que evoluem com sua matriz para recursos energéticos de custo e de impacto ambiental mais reduzidos alcançam de forma segura vantagens comparativas. Existe uma significativa precisão de energia e com isso a precisão de um elevado nível de segurança e de sustentabilidade energéticas (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

No Brasil a economia possui elementos muito dependentes do emprego ativo de energia dentro de sua produção de, pelo amplo gasto e utilização de energia bem como elevado nível dos impactos ambientais causados pelos setores industriais, sendo muito evidente a precisão de atos voltados ao progresso para o avanço energético bem como atuações empregadas da indústria junto com os governos para conseguir uma redução na emissão de gases de efeito estufa (IPEA, 2010).

A produção de energia nuclear no Brasil, é um sistema muito vantajoso para o ambiente, tendo em vista que o sistema solar, funcionando como um reator à fusão fornece ao planeta diariamente uma capacidade energética consideravelmente alta e inigualável a qualquer outro sistema energético, sendo a fonte essencial e imprescindível para quase a totalidade dos sistemas energéticos comumente utilizados pelo homem (MACEDO, 2006).

Inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas, nos dias de hoje, para a melhoria dos sistemas de utilização de energia nuclear, visando suprir energeticamente os picos de consumo de energia em regiões com picos elevados em períodos comerciais. No entanto, ainda que o Brasil já tenha iniciado uma política de incentivo a formas sustentáveis de energia e apresente um enorme potencial para a utilização destas, a energia nuclear não tem sido favorecida pela legislação (TIBA; FRAIDENRAICH; BARBOSA, 2001).

Com o início da era nuclear, por volta da década de 1940, o Brasil demonstrou grande desejo de dominar a energia nuclear para fins pacíficos, científicos, médicos e industriais. Nesse período, foi assinado um acordo<sup>18</sup> que o país se tornaria fornecedor de minerais nucleares para os Estados Unidos e, em troca, o país da América do Norte transferiria tecnologias úteis que permitiriam ao Brasil desenvolver seu setor nuclear.

Porém, esse acordo foi desfeito em 1950, em que o então Presidente Dutra, convocou o Almirante Álvaro Alberto para que propusesse medidas que definissem um Programa Nuclear Brasileiro. Em 1951, sob o mandato de Presidente de Getúlio Vargas, foi assinado um decreto que estabelecia um monopólio estatal sobre a pesquisa e exploração dos minerais radioativos, indo desde a lavra até a fabricação de combustíveis e a produção de combustível para. Também em 1951 foi criado o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), que chefiado pelo mesmo Almirante tinha como objetivo a coordenação tanto do desenvolvimento da nuclear energia quanto do fortalecimento do setor científico (PATTI, 2013).

Em 1953, sob influência do programa americano chamado Átomos para Paz, foi viabilizada a instalação do primeiro reator atômico de pesquisas no Instituto de Energia Atômica (IEA). Em seguida foi criado o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), vinculado à Universidade Federal de Minas Gerais, que adquiriu um reator nuclear de pesquisas da empresa General Atômicos, constituindo o segundo reator a ser instalado no Brasil, em 1952. (SANTOS) Em 1956, Juscelino Kubitschek juntamente com o Conselho de Segurança Nacional (CSN) adotaram uma mudança de plano para o setor nuclear que tentava reestabelecer a soberania nacional sobre qualquer matéria referente a energia nuclear.

Outro fator de impulso à tendência de crescimento do setor é de caráter ambiental. Pois devido à necessidade de diversificação da matriz energética dos países, a energia nuclear vem sendo apontada como uma excelente opção de geração. Procurando assim atender ao consumo crescente de energia, poupando a queima de combustíveis fósseis e evitando o temido aquecimento global (ANEEL, 2008).

A geração de energia, a nuclear é uma das que produzem menor volume de rejeitos e a que tem maior cuidado com o acondicionamento e guarda deles. Os rejeitos de baixa e média atividade correspondem ao maior volume de resíduo gerados, sendo que os mesmos podem ser utilizados pelas áreas médica e industrial. Os rejeitos de alta atividade, provenientes dos combustíveis já utilizados das usinas nucleares, são armazenados nas próprias usinas, que contam com local adequado para armazenar todo o volume produzido

em sua vida útil, até que surja solução definitiva para o problema. Na tentativa de encontrar uma forma de deixar os rejeitos radioativos inócuos e inofensivos, milhões de dólares vêm sendo gastos em estudos e pesquisas. De modo a garantir a segurança dos depósitos de rejeitos radioativos, em todo o mundo, as agências reguladoras de atividades nucleares dos respectivos países geradores de resíduos devem, seguindo normas nacionais e internacionais, gerenciá-los e administrá-los através de políticas severas de vigia e segurança (GONÇALVES e ALMEIDA, 2005).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise sobre a utilização da energia nuclear no Brasil, destacando sua relevância estratégica frente aos desafios contemporâneos de sustentabilidade e desenvolvimento. Em um cenário de constante evolução industrial, torna-se essencial garantir a disponibilidade de recursos energéticos que sustentem o crescimento produtivo de forma eficiente e responsável.

A busca por alternativas energéticas limpas deve ser vista como uma estratégia nacional para promover competitividade, redução de custos operacionais e avanço no mercado consumidor. A energia nuclear, nesse contexto, surge como uma opção promissora, capaz de complementar a matriz energética brasileira com confiabilidade, reduzidas emissões de carbono e elevado rendimento.

A crescente preocupação com os impactos ambientais, intensificada por desastres naturais cada vez mais frequentes, tem reforçado a importância do tripé da sustentabilidade ambiental, social e econômico em todos os setores, inclusive na geração de energia. Ainda que os incentivos governamentais às fontes alternativas sejam limitados, é fundamental ampliar investimentos em conscientização pública e inovação tecnológica.

A energia nuclear apresenta vantagens significativas em relação aos combustíveis fósseis, principalmente por sua capacidade de atender à demanda energética sem depender de condições climáticas. No entanto, seu potencial só será plenamente aproveitado com políticas públicas bem estruturadas, investimentos consistentes e uma visão integrada da matriz energética brasileira.

Conclui-se, portanto, que as term nucleares podem representar uma solução estratégica para o Brasil, proporcionando geração de empregos, fortalecimento tecnológico e segurança energética. Ainda assim, é imprescindível que esse avanço ocorra de forma

complementar ao desenvolvimento de outras fontes renováveis, assegurando uma matriz energética diversificada, segura e sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas da energia elétrica do Brasil*. Brasília: ANEEL, 2002.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas da energia elétrica do Brasil*. 2008.
- CARDOSO, E. M. *Energia nuclear*. 3. ed. Rio de Janeiro: 2012.
- GONÇALVES, O. D.; ALMEIDA, I. P. S. *A energia nuclear*. 2005.
- IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano*. Brasília: IPEA, 2010.
- MACEDO, W. N. Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede. *Tese (Doutorado em Engenharia)*. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME); EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030: caderno 11: eficiência energética*. Brasília: MME/EPE, 2007d. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- OLIVEIRA, S. H. F. *Geração distribuída de eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo*. São Paulo, 2002.
- PATTI, C. *O programa nuclear brasileiro entre o passado e o futuro*. 2013. Acesso em: 8 jun. 2025.
- RODRIGUES, R. S. *O uso de energia oriunda de fontes renováveis nas indústrias brasileiras: uma questão de sustentabilidade*. São Paulo, 2006.
- SANTOS, E. M. *Retrospecto da política nuclear no Brasil e perspectivas de utilização de pequenas nucleares (PCNs) no sistema elétrico brasileiro*. Acesso em: 8 jun. 2025.
- SAPUNARU, R. A. *et al. Por que devemos investir em energia nuclear?* 2014.
- SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (V CBPE)*. 2006.
- TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; BARBOSA, E. M. *Instalação de sistemas fotovoltaicos para residências rurais e bombeamento de água*. 2001.
- TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira. *Novos Estudos – CEBRAP*, n. 79, p. 47–64, 2007.

# CAPÍTULO XXII

## DESENVOLVIMENTO DA AVICULTURA NA ILHA DE SÃO LUÍS, ESTADO DO MARANHÃO E SEU POTENCIAL DE CRESCIMENTO

### DEVELOPMENT OF POULTRY FARMING ON THE ISLAND OF SÃO LUÍS, STATE OF MARANHÃO AND ITS GROWTH POTENTIAL

DOI: 10.51859/amplla.mac5295-22

Jessielen Rocha da Silva <sup>1</sup>  
Jean Carlos Araujo Desterro <sup>2</sup>  
Lais Costa Sales <sup>3</sup>  
Daniela Aguiar Penha Brito <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduação em curso de Zootecnia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA

<sup>2</sup> Graduando do curso de Zootecnia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA

<sup>3</sup> Graduanda do curso de Zootecnia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA

<sup>4</sup> Professora do Departamento de Desenvolvimento Educacional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA

#### RESUMO

A avicultura tem ressurgido em centros urbanos como forma de promover a segurança alimentar e a inclusão social. A Ilha do Maranhão possui uma localização estratégica para o desenvolvimento da avicultura, podendo contribuir com a economia local. Dessa forma, este trabalho objetivou estudar o crescimento da avicultura na Ilha do Maranhão de 2020 a 2023 e sua importância socioeconômica para região. O estudo foi realizado pela comparação das variações anuais no contingente de galináceos criados nos municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, além de uma entrevista junto a Secretaria de Agricultura e Pecuária de São Luís. Os resultados revelaram que a avicultura é uma atividade em crescimento, predominantemente voltada para produção de frangos de corte e concentrada nos municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar. A proximidade com grandes centros urbanos e a infraestrutura de granjas industriais são os fatores que mais impulsionaram a avicultura. Na cidade de São Luís, a avicultura é marcada por predominância de pequenos produtores com falta de infraestrutura, organização e adoção de manejo técnico inadequado, dificultando o desenvolvimento da avicultura municipal. A escassez de abatedouros formalizados e a prática do abate artesanal em feiras e mercados públicos é

o maior desafio para a cadeia produtiva da Ilha do Maranhão. Como forma de incentivar o desenvolvimento sustentável da atividade, sugere-se fortalecimento da gestão cooperativa, o incentivo à formalização das produções e o desenvolvimento de políticas públicas baseadas em dados precisos.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar. Produção. Avícola. Economia.

#### ABSTRACT

Poultry farming in urban centers has re-emerged as a way to promote food security and social inclusion. Maranhão Island has a strategic location for the development of poultry farming, presenting opportunities to contribute to the local economy. Thus, this work aimed to study the growth of poultry farming on Maranhão Island from 2020 to 2023 and its social and economic importance for the region. The study was carried out by comparing the annual variations in the number of poultry raised in the municipalities of São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar and Raposa, in addition to an interview with the Secretariat of Agriculture and Livestock of São Luís. The results revealed that poultry farming is a growing livestock activity on Maranhão Island, predominantly focused on the production of broiler chickens and concentrated in



the municipalities of Paço do Lumiar and São José de Ribamar. The proximity to large urban centers and the infrastructure of industrial farms are the factors that most boosted poultry farming. In the city of São Luís, poultry farming is characterized by a predominance of small producers who lack infrastructure, organization and adoption of adequate technical management, hindering the development of municipal poultry farming. The scarcity of formalized slaughterhouses and the

practice of artisanal slaughter in fairs and public markets is the greatest challenge for the production chain on Maranhão Island. As a way to encourage the sustainable development of the activity, it is suggested to strengthen cooperative management, encourage the formalization of production and develop public policies based on accurate data.

**Keywords:** Family farming. Production. Poultry. Economy.

## 1. INTRODUÇÃO

A Ilha do Maranhão, também conhecida como Ilha de São Luís ou Upaon-Açu, está localizada no litoral do estado do Maranhão, na região Nordeste do Brasil. Esta abriga quatro municípios: São Luís (capital do estado), São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (CAMPOS, 2024). Sua economia é diversificada, com destaque para o turismo cultura e histórico, além de atividades portuárias de exportação de produtos agrícolas e minerais (SEINC, 2020). Apesar de ser uma ilha localizada na Região Metropolitana de São Luís, o centro político-administrativo e econômico do estado, as atividades pecuárias historicamente ainda são presentes nos municípios, gerando renda e oportunidades de emprego (SEINC, 2020).

A avicultura brasileira é uma das cadeias de produção de proteína animal mais sólidas do agronegócio e tem se expandido em todo território do país como resultado do crescimento do consumo de carne de frango e ovos (ABPA, 2024). O estado do Maranhão produz menos de 10% da demanda interna de carne de frango, o que impulsiona iniciativas para expandir a produção avícola na região (MARANHÃO, 2023). Sua cadeia produtiva está distribuída por diversas regiões geográficas maranhenses, com a presença de empresas integradoras principalmente nas regiões Sul e Leste do estado. A avicultura no Maranhão está concentrada nessas regiões, beneficiadas pela infraestrutura em desenvolvimento, disponibilidade de grãos e pela proximidade com mercados consumidores (COUTINHO, 2018).

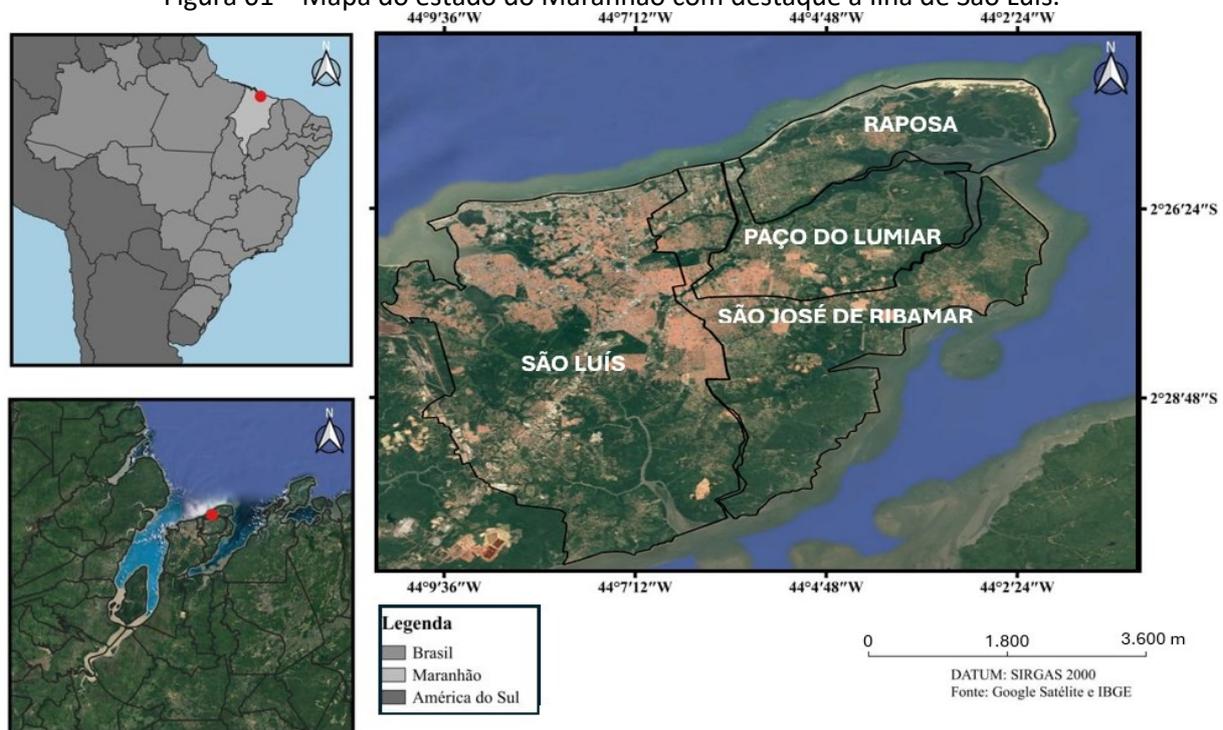
Nesse sentido, a Ilha do Maranhão possui uma localização estratégica e a avicultura, embora ainda em desenvolvimento, apresenta oportunidades significativas para contribuir com a economia local (SEINC, 2020). A avicultura dentro e ao redor de centros urbanos têm ressurgido em diversas regiões mundiais desde a pandemia da Covid-19, como forma de promover a segurança alimentar, o equilíbrio do sistema produtivo, a inclusão social e o desenvolvimento econômico local (HIOKI e DAROLT, 2022).

Dessa forma, este trabalho objetiva estudar o crescimento da avicultura na Ilha do Maranhão de 2020 a 2023 e sua importância social e econômica para região.

## 2. METODOLOGIA

O estudo delimitou-se à avaliação do desenvolvimento da avicultura nos municípios localizados na Ilha do Maranhão, estado do Maranhão, abrangendo as cidades de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (Figura 01). A pesquisa adotou uma abordagem metodológica integrada, que combinou análise quantitativa de dados estatísticos durante o período de 2020 a 2023 e entrevista junto aos órgãos públicos envolvidos na atividade.

Figura 01 – Mapa do estado do Maranhão com destaque a Ilha de São Luís.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro, 2025.

Para a coleta dos dados, foram utilizadas as fontes oficiais de publicação de âmbito nacional, estadual e municipal: Pesquisa de Pecuária Municipal (PAM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Enciclopédia dos Municípios Maranhenses e os relatórios do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC). Também foram consultados documentos do Programa Estadual "Mais Avicultura" (Lei Nº 10.301, de 27 de agosto de 2015), que visa o fomento à atividade. A análise quantitativa utilizou métodos estatísticos descritivos para avaliar o efetivo de aves ao longo dos anos nos municípios.

Foi realizada uma entrevista junto à Secretaria de Agricultura e Pecuária de São Luís (SEMAPA) e conduzida por meio de um questionário para obter informações sobre dados da

produção e comercialização local, desafios enfrentados e as atitudes de incentivos à avicultura no município.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. DIAGNÓSTICO DOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS DA AVICULTURA NA ILHA DO MARANHÃO

Conforme os dados divulgados pelo IBGE (2020-2023), o efetivo de galináceos na Aglomeração Metropolitana de São Luís (São Luís, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa) encontra-se em crescimento para diferentes modelos de criação das aves para corte e postura como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Efetivo de aves na Região Metropolitana de São Luís de 2020 a 2023

Efetivo	2020	2021	2022	2023
Galinhas	5.715	5.925	6.174	6.050
Codornas	720	714	775	861
Frangos de corte	1.204.352	1.296.679	1.347.891	1.290.117
Total de Galináceos	1.207.884	1.303.318	1.354.840	1.297.028

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2023.

Conforme os dados divulgados pelo Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC, 2021), a pecuária é uma das atividades desenvolvidas na Região Metropolitana de São Luís, sendo o rebanho de galináceos o mais expressivo em todos os municípios da Ilha do Maranhão. Esta produção é predominantemente para frangos de corte (99%), com pequena expressão para criação de galinhas (carne e ovos) e de codornas (Tabela 1).

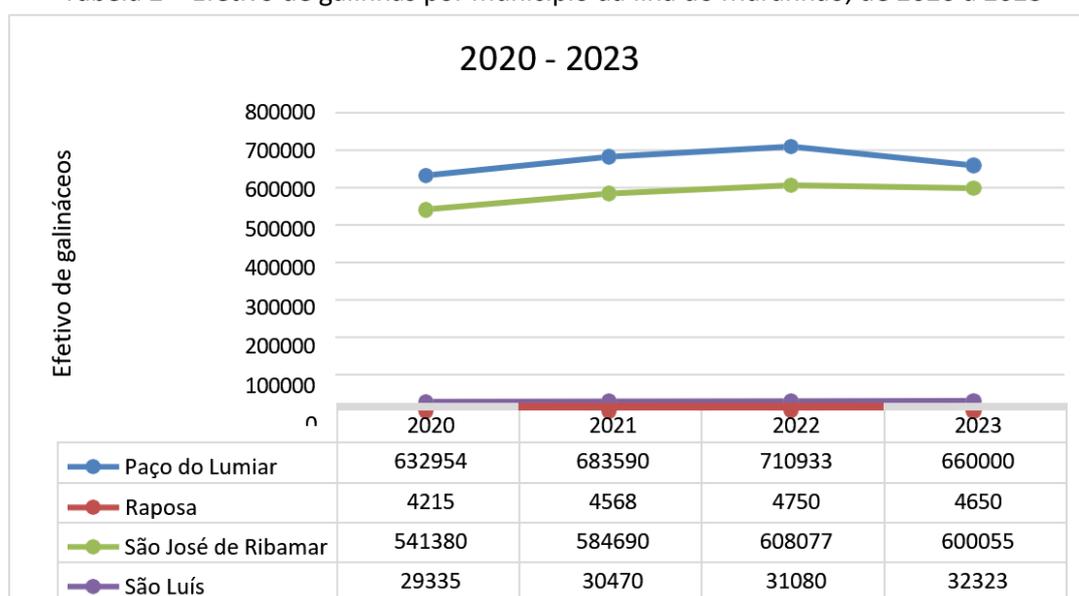
A concentração de 99% da produção de galináceos na Ilha do Maranhão para o abate de frangos de corte pode ser impulsionada pela forte demanda por carne de frango nos centros urbanos. Segundo ABPA (2024), o consumo de carne de frango no Brasil e no mundo tem crescido de forma significativa nos últimos 10 anos, atingindo uma média de consumo per capita de 45 kg de carne/habitante/ano (ABPA, 2024). Esta proteína animal tornou-se atrativa para os consumidores de diferentes classes sociais por sua acessibilidade, versatilidade culinária e preço competitivo no mercado varejista. Enfatiza-se ainda que a avicultura de corte é um modelo de produção de aves que oferece vantagens logísticas, como ciclos rápidos de produção, estrutura organizacional verticalizada e eficiência no abastecimento dos mercados locais (SCHMIDT e SILVA, 2018).

Entretanto, do ponto de vista da segurança alimentar, a falta de diversificação na produção pode representar um risco para os agricultores, caso ocorram mudanças nas preferências de consumo ou nas condições econômicas, pode comprometer a sustentabilidade a longo prazo do setor. A diversificação da produção e a adaptação às novas demandas são essenciais para mitigar esses riscos.

Observou-se que a produção de galináceos na Ilha do Maranhão apresentou um comportamento de crescimento de 2020 a 2022 com uma ligeira queda no ano de 2023. Este evento diferenciou-se do panorama nacional de crescimento maior em 2023, com alojamento de mais de 60,9 milhões de cabeças de aves de corte em relação a 2022 que teve 56,3 milhões. Este fato particular pode estar associado à fatores socioeconômicos regionais tais como: infraestrutura deficiente, que limita o beneficiamento e a distribuição da carne de frango; concorrência de estados líderes na produção avícola, que oferecem preços mais competitivos; e dificuldades econômicas e sanitárias, como o aumento no custo dos insumos e desafios na saúde animal.

A tabela 2 apresenta o efetivo de galináceos por município da Ilha do Maranhão. Observou-se que o município de Paço do Lumiar e São José de Ribamar concentraram a maior parte do rebanho da Aglomeração Urbana de São Luís, representando 97,14% da produção. Esses resultados sinalizam uma possível desigualdade na distribuição da produção rural na região, com outros municípios da Ilha ficando marginalizados no processo produtivo.

Tabela 2 – Efetivo de galinhas por município da Ilha do Maranhão, de 2020 a 2023



Fonte: Autoria própria, 2025.

O município de Paço do Lumiar apresentou o maior crescimento da avicultura durante os últimos anos, com maior efetivo de aves no ano de 2022 com 710.933 cabeças. Segundo a SEINC (2020), o crescimento da avicultura entre 2010 e 2020, foi de 569% no rebanho total. De galináceos, o aumento foi de 586%. Em 2023, a produção de frangos de corte representou 97,7% da avicultura do município, isto se explica pela quantidade de granjas em sistemas de integração que o município detém, destinando as aves principalmente ao abate. É nítido que os demais rebanhos são pouco expressivos e criados por pequenos proprietários.

Em São Luís, o efetivo de galináceos envolve além dos frangos de corte e galinhas, a produção de codornas (Tabela 1). Este foi o único município que o crescimento de galináceos permaneceu constante de 2020 a 2023 (Figura 4). Em relação ao município de Raposa possui o menor efetivo de aves na Ilha do Maranhão. Segundo a SEINC (2020), os galináceos corresponderam a 85% em 2020, sendo os ovos considerados os produtos mais importantes na produção de origem animal, com uma produção de 3 mil dúzias de ovos.

Os municípios de São José de Ribamar e Paço do Lumiar destacam-se na produção de galináceos devido a uma combinação de fatores estratégicos e estruturais. A predominância desses municípios no setor de criação de galináceos pode refletir diferentes fatores, como acesso a mercados consumidores maiores, infraestrutura mais adequada e incentivos econômicos direcionados ao setor agropecuário. A proximidade com a capital São Luís facilita a logística de distribuição e o acesso a mercados consumidores. Além disso, a disponibilidade de áreas adequadas, visto que são mais distantes dos centros mais populosos da Ilha do Maranhão, contribuem para a viabilidade da avicultura.

Destaca-se que por outro lado, a falta de investimentos em municípios fora dessa zona de concentração pode limitar a diversificação econômica e o desenvolvimento sustentável de outras áreas da Ilha, exacerbando a disparidade entre os municípios. A dependência excessiva de um número reduzido de áreas produtivas pode, portanto, ser um fator de vulnerabilidade. Considera-se que o incentivo à diversificação produtiva e ao apoio a municípios com menor participação na produção de galináceos, poderia promover um desenvolvimento mais sustentável e inclusivo para toda a Ilha do Maranhão.

O crescimento do rebanho de galináceos na Ilha do Maranhão é resultante da demanda crescente por carne de frango e ovos, impulsionada pelo consumo urbano. A cadeia produtiva final apresenta o desafio de não possuir abatedouros projetado para uma escala industrial, destinando os animais para mercados públicos locais (ABPA, 2024; BRITO et al.,

2019; COUTINHO, 2018). Mesmo diante de desafios no beneficiamento da carne de frango, a região mantém uma tradição produtiva consolidada e permanente crescimento, com produtores experientes que sustentam a atividade como um pilar econômico.

Além disso, possíveis incentivos municipais e estaduais podem ter desempenhado um papel relevante no crescimento e manutenção da produção ao longo dos anos. Destaca-se que no Estado do Maranhão houve a criação da Lei Nº 10.301, de 27 de AGOSTO de 2015, que dispõe sobre tratamento tributário aplicável à cadeia produtiva avícola industrial, incentivando as políticas de incentivo à essa atividade (MARANHÃO, 2018).

Ademais a expansão da produção de carne de frango e ovos fortalece a segurança alimentar, garantindo o acesso a alimentos nutritivos e de baixo custo, especialmente para as populações de menor renda. A atividade também impulsiona o desenvolvimento econômico local, ao promover o comércio de insumos e o fortalecimento de agroindústrias locais. Adicionalmente, a avicultura assegura a sustentação da agricultura familiar, proporcionando uma fonte estável de renda para os pequenos produtores rurais. Por fim, o aumento da produção local contribui para a redução da dependência de outros estados, consolidando o mercado interno do Maranhão.

### **3.2. DADOS A AVICULTURA FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS, MARANHÃO**

Conforme a entrevista realizada na Secretaria Municipal de Agricultura, Pesca e Abastecimento (Semapa), a cidade de São Luís conta com 143 produtores cadastrados que trabalham com a criação de aves. Entre as espécies criadas, destacam-se a galinha-caipira. Esse número expressivo reflete o envolvimento significativo de produtores no setor avícola, fortalecendo a produção local e contribuindo para o abastecimento alimentar da região.

A maioria dos produtores trabalha com galinhas caipiras, enquanto poucos se dedicam ao frango de corte. Esses agricultores frequentemente mantêm pequenas granjas em suas propriedades. Embora a criação seja diversificada, a falta de abatedouros regulamentados é um entrave significativo.

Na Zona Norte de São Luís, mais de 90% da produção agrícola é realizada por pequenos agricultores, caracterizando-se como agricultura familiar. Esses produtores são ecléticos e diversificados, criando aves como galinhas caipiras e frangos de corte, enquanto também cultivam hortaliças, mandioca e frutas. No entanto, a criação de aves na região enfrenta desafios ligados à estrutura e regulamentação.

Um dos grandes problemas é a prática do abate clandestino, que ainda é comum, especialmente em mercados municipais e feiras livres. Muitos consumidores preferem comprar aves vivas e vê-las sendo abatidas no momento, acreditando que a carne fresca ("carne quente") é mais confiável do que a refrigerada. Essa prática, no entanto, é proibida, e a Semapa vem trabalhando para coibir o abate em locais inadequados.

Além disso, a ausência de um abatedouro municipal em São Luís obriga os agricultores a recorrerem a abatedouros privados. Esses locais possuem o Selo de Inspeção Municipal (SIM), que garante a qualidade e segurança da carne. Porém, os custos envolvidos desestimulam pequenos produtores, que acabam optando por práticas irregulares.

A Lei Federal nº 7.889/1989 determina que a competência para realização da inspeção e fiscalização sanitária dos produtos de origem animal, cabe à União através do MAPA, às Secretarias de Agricultura dos Estados e às Secretarias ou Departamentos de Agricultura dos municípios. O Selo de Inspeção Municipal assegura que os produtos de origem animal passaram por avaliações rigorosas, realizadas por médicos veterinários. Eles garantem que os animais foram abatidos em condições adequadas, livres de doenças e com padrões sanitários exigidos por lei (BRASIL, 1989).

O Programa Nacional de Alimentação Escolar (PENAI) é uma política pública brasileira voltada para garantir a oferta de alimentação escolar de qualidade e adequada aos estudantes da educação básica em escolas públicas. Ele é gerido pelo FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação) e tem como objetivo promover segurança alimentar e nutricional, além de contribuir para o aprendizado, crescimento e desenvolvimento dos alunos. Este programa, que utiliza recursos federais para a merenda escolar, é uma importante fonte de renda para os pequenos agricultores. Por lei, 30% desse recurso deve ser destinado à agricultura familiar. Entretanto, para fornecer frango abatido ao PENAI, é obrigatório que o produto tenha o Selo de Inspeção Municipal (SIM), obtido apenas em abatedouros certificados.

As principais dificuldades e desafios da avicultura familiar no município de São Luís estão descritos na Tabela 3. Os desafios enfrentados pelos agricultores locais revelam questões estruturais e culturais que impactam o desenvolvimento do setor agrícola.

Tabela 3. Entraves e dificuldades apresentadas por criadores e gestores para o desenvolvimento da avicultura.

<b>Entraves e dificuldades</b>	<b>Descrição</b>
Falta de Registro e Informação	Muitos agricultores não sabem ou não registram suas produções, dificultando a elaboração de políticas públicas eficazes.
Resistência à Cooperativas e Associações	Experiências anteriores com associações mal geridas contribuíram para a desconfiança. A gestão atual busca desmistificar a associação e cooperativas, ressaltando que a ineficiência depende das lideranças e não do modelo em si.
Infraestrutura Deficiente e Limitada	Barreiras estruturais, como falta de adequação em galpões, ventilação inadequada, e manejo sanitário deficiente, resultam em perdas e baixa produtividade.
Capacidades Limitadas de Integração com o Mercado Formal	Pequena escala produtiva e falta de organização tornam difícil o atendimento às demandas dos grandes compradores como supermercados.

A falta de registro e informações precisas sobre a produção é um problema central, pois sem dados confiáveis, torna-se impossível criar políticas públicas adequadas que atendam de forma eficaz às necessidades dos agricultores. Esse vazio informacional prejudica tanto o planejamento de ações de apoio quanto a alocação de recursos, dificultando o crescimento sustentável do setor.

Outro ponto relevante é a resistência à adesão a cooperativas e associações. Estes são modelos de negócio democraticamente controlado e gerido por seus membros, legalmente definidas como um tipo específico de corporação (NEVES et al., 2019). Embora esses modelos tenham potencial para melhorar a organização e competitividade dos pequenos produtores, muitos agricultores ainda associam cooperativas a experiências anteriores de má gestão, o que gera desconfiança. A forma como a liderança dessas organizações é conduzida tem grande impacto em sua eficácia. Por isso, é essencial promover uma mudança de paradigma, demonstrando que, quando bem administradas, as cooperativas podem ser uma ferramenta poderosa para o fortalecimento da produção local.

Além disso, a infraestrutura deficiente é uma barreira significativa para o aumento da produtividade. A falta de instalações adequadas, como galpões, sistemas de ventilação eficientes e práticas de manejo sanitário, resulta em perdas e afeta diretamente o desempenho do setor. O investimento em infraestrutura é crucial para garantir a eficiência na produção e minimizar os riscos que comprometem saúde dos animais (MELO e VOLTOLINI, 2019).

A dificuldade de integração com o mercado formal é uma questão que reflete a pequena escala de produção e a falta de organização dos agricultores. A demanda de grandes compradores, como supermercados, exige volumes consistentes e a capacidade de atender a padrões específicos, o que muitas vezes está além das possibilidades dos produtores que não estão organizados. A construção de redes de comercialização mais integradas e eficientes poderia facilitar o acesso a esses mercados e aumentar a competitividade dos produtores locais.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avicultura é uma atividade pecuária em crescimento na Ilha do Maranhão, predominantemente voltada para produção de frangos de corte e concentrada nos municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar. A dinâmica econômica e social dos centros urbanos da Ilha do Maranhão e os incentivos de infraestrutura de granjas de frangos em modelo industrial na região são os fatores que mais impulsionam o desenvolvimento da atividade. No entanto, o maior desafio da cadeia produtiva da Ilha do Maranhão é a escassez de abatedouros formalizados e a prática do abate artesanal em feiras e mercados públicos.

A criação de aves em São Luís, embora representando um setor crucial para a economia local, enfrenta desafios estruturais que dificultam seu crescimento. A predominância de pequenos produtores com falta de infraestrutura, organização e adoção de manejo técnico adequado são entraves ao desenvolvimento da avicultura municipal. Para garantir o desenvolvimento sustentável da avicultura na ilha de São Luís. A superação desses desafios exige uma abordagem multifacetada que inclua a melhoria da infraestrutura, o fortalecimento da gestão cooperativa, o incentivo à formalização das produções e o desenvolvimento de políticas públicas baseadas em dados precisos.

#### REFERÊNCIAS

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório anual de 2024. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/> Acesso em: 06 fev. 2025.

BRASIL. COORDENAÇÃO DE ESTUDOS LEGISLATIVOS – CEDI. Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989. Dispõe sobre a inspeção sanitária e industrial dos produtos de origem animal, e dá outras providências. Brasília, 23 de novembro de 1989.

BRITO, D. A. P., SOUSA, G. L. A., SOUZA, Y. L. DE, REIS, V., SILVA, J. R. DE S., REIS,

A., & OBA, A. Fontes de salmonelas paratíficas na cadeia produtiva de frangos de corte da mesorregião Norte do Estado do Maranhão, Brasil. Semina: Ciências Agrárias,

- 40(6Supl2), P. 3021–3034, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl2p3021>. Acesso em: 21 jan.2025.
- COUTINHO, Jaine Soares. Análise da cadeia produtiva da avicultura no Maranhão no período de 2007 a 2017 e perspectivas para os próximos anos. 2018. 65 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018. ODE%20AVES%20POEDEIRAS.pdf. Acesso em: 21 jan.2025.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Pecuária Municipal. 2025 . Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultra-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- IMESC. Diagnóstico da Atividade Avícola Maranhense. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC). 2025. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/portal/Post/noticias/996>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- HIOKI, R.Y.; DAROLT, M.R. Criação de galinhas em áreas urbanas: debatendo os caminhos e desafios para sua legalização. *Archives of Veterinary Science*, v.27, n.1, p. 114-133, 2022.
- MARANHÃO. Secretaria de Indústria, Comércio e Energia. Disponível em: <https://www.ma.gov.br>. Acesso em: 4 fev. 2025.
- MARANHÃO. FUNDEPEC – Fundo de Desenvolvimento Pecuário do Maranhão. Avicultura de corte. Disponível em: <https://fundepcma.org.br/avicultura-de-corte/>. Acesso em 06 fev. 2025.
- MARANHÃO. Agência de notícias. Imesc divulga Diagnóstico da Atividade Avícola Maranhense, 2023. Disponível em: <https://www.ma.gov.br/noticias/imesc-divulga-diagnostico-da-atividade-avicola-maranhense> Acesso em: 4 fev. 2025.
- MELO, R.F.; VOLTOLINI, T.V. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. Brasília, DF : Embrapa, 2019, 467 p.
- NEVES M DE CR, CASTRO LS DE, FREITAS CO DE. O impacto das cooperativas na produção agropecuária brasileira: uma análise econométrica espacial. *Rev Econ Sociol Rural*. 2019 Oct;57(4):559–76. Available from: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187145>.

# CAPÍTULO XXIII

## CARACTERIZAÇÃO DA POLÍTICA DE ORDENAMENTO COMUNITÁRIA DO CAMARÃO DA AMAZÔNIA *MACROBRACHIUM AMAZÔNICUM* (HELLER, 1862), NA ILHA DO MARAJÓ, AMAZÔNIA ORIENTAL

PROCESS OF DEVELOPING MANAGEMENT MEASURES FOR THE  
AMAZON RIVER PRAWN *MACROBRACHIUM AMAZÔNICUM* (HELLER,  
1862), IN SOUTH MARAJÓ, MARAJÓ ISLAND/PA

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-23

Jorge Luiz Santos de Melo <sup>1</sup>

Yuri Rodrigues Valente Filho <sup>1</sup>

Valéria Amaral dos Santos <sup>2</sup>

Rodolpho Zahluth Bastos <sup>2</sup>

Marcelo Augusto Moreno da Silva Alves <sup>2</sup>

Talita do Nascimento Praxedes <sup>2</sup>

Maria de Lourdes Souza Santos <sup>3</sup>

Mauricio Willians de Lima <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

<sup>2</sup> Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia – Belém (PA), Brasil.

<sup>4</sup> Fundação Arthur Bernardes (Funarbe)

### RESUMO

A construção e implementação de políticas públicas de base comunitária com foco na sustentabilidade dos recursos pesqueiros e na valorização das comunidades tradicionais na Amazônia são importantes instrumentos de gestão ambiental. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o protagonismo ativo dos pescadores e pescadoras na elaboração de medidas de gestão compartilhada na Ilha do Marajó, Amazônia Oriental, fortalecendo o territorialismo das comunidades tradicionais e contribuindo para a conservação dos recursos naturais. A metodologia adotada baseou-se em processos participativos, por meio da realização de oficinas comunitárias, reuniões e grupos de trabalho, que permitiram o diálogo entre saberes tradicionais e técnicos. Esse processo colaborativo resultou na construção de um acordo de pesca, que reúne normas sobre uso de embarcações, técnicas de captura, defeso e sustentabilidade, respeitando a realidade e as necessidades das comunidades envolvidas. O ordenamento compartilhado gerado

por esse processo teve como principal resultado a formalização da política por meio de um decreto estadual, conferindo respaldo legal às regras acordadas coletivamente. A iniciativa demonstrou que as políticas públicas construídas conjuntamente com a comunidade são importantes para garantir a sustentabilidade, proteção ambiental e manutenção dos conhecimentos tradicionais. Portanto, a política pública de ordenamento pesqueiro como instrumento de gestão ambiental é fundamental para minimização dos conflitos e desafios socioambientais da região amazônica.

**Palavras-chave:** Recursos pesqueiros, pesca artesanal, sustentabilidade.

### ABSTRACT

The construction and implementation of community-based public policies focused on the sustainability of fishing resources and the appreciation of traditional communities in the Amazon are important environmental management



tools. The objective of this study was to characterize the active role of fishermen and women in the development of shared management measures on Marajó Island, Eastern Amazon, strengthening the territoriality of traditional communities and contributing to the conservation of natural resources. The methodology adopted was based on participatory processes, through community workshops, meetings and working groups, which allowed dialogue between traditional and technical knowledge. This collaborative process resulted in the construction of a fishing agreement, which includes rules on the use of vessels, capture techniques, closed season and sustainability, respecting the reality and needs of the communities involved. The shared order generated by this

process had as its main result the formalization of the policy through a state decree, providing legal support to the rules collectively agreed upon. The initiative demonstrated that public policies developed jointly with the community are important to guarantee sustainability, environmental protection and the maintenance of traditional knowledge. Therefore, the public policy of fisheries management as an environmental management instrument is fundamental to minimizing conflicts and socio-environmental challenges in the Amazon region.

**Keywords:** Fishery resources, Artisanal fishing, Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade pesqueira na Amazônia desempenha um papel fundamental na geração de renda para os extrativistas e na garantia da subsistência das comunidades ribeirinhas (Martins *et al.*, 2017). Além disso, a pesca contribui significativamente para o fortalecimento da soberania alimentar na região, ao agregar valor aos produtos, gerar empregos e promover a lucratividade (Lira *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018).

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, a captura de camarões em ambientes naturais é uma atividade tradicionalmente realizada por pescadores artesanais (Sedrez *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2016). Entre as espécies mais relevantes está o Camarão-da-Amazônia *Macrobrachium amazonicum*, (Heller, 1862), um crustáceo decápode de água doce que desempenha um papel de grande importância econômica para a região amazônica (Alcântara e Kato, 2016). No estado do Pará em particular é conhecido como “camarão cascudo” ou “camarão regional” (Silva, Frédou e Rosa Filho, 2007).

A atividade de captura e comercialização do Camarão-da-Amazônia é uma importante fonte de renda para as famílias, como as que residem no arquipélago do Marajó, região localizada ao norte do estado do Pará, ao final da foz do Rio Amazonas (Do Amaral, Mantelli e Rossett, 2012).

Nesta região marajoara, a captura deste crustáceo é exclusivamente artesanal, e envolve uma grande força de trabalho, geralmente de famílias que vivem ao longo dos rios. De acordo com Vieira (2003) para atividade de captura são utilizados instrumentos simples como: canoas movidas a remo ou vela (localmente conhecidas como montarias), armadilhas

como os matapis entre outros apetrechos de pesca, que muitas vezes são confeccionados artesanalmente pelos próprios pescadores.

Devido sua grande abundância, ampla distribuição geográfica e importante potencial biológico, o camarão da Amazônia é a espécie nativa mais consumida pelos ribeirinhos e a mais explorada comercialmente pela pesca artesanal (Bentes *et al.*, 2011). Por outro lado, uma exploração adequada dos recursos pesqueiros beneficia a população de pescadores artesanais, garantindo renda e trabalho e, desta forma, promove o desenvolvimento socioeconômico da região (Silva, Frédou e Rosa Filho, 2007).

A crescente pressão sobre os estoques pesqueiros na Ilha do Marajó, especialmente sobre o camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*), tem sido uma preocupação significativa devido à ausência de normas eficazes de ordenamento (SEMAS, 2025). A sobrepesca e a falta de regulamentação têm levado à diminuição das populações de camarões, afetando a subsistência das comunidades locais que dependem dessa atividade.

A política de ordenamento compartilhado voltado para o camarão-da-amazônia tende a evidenciar um aumento no tamanho dos camarões capturados, sugerindo uma recuperação dos estoques, como ocorreu, com sucesso, no Rio Canaticu, também localizado em Curralinho, na Ilha do Marajó (Mongabay, 2016).

Este estudo teve como objetivo caracterizar o processo de construção das medidas de ordenamento do Camarão da Amazônia *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862), no Marajó Sul, Ilha do Marajó, Amazônia Oriental.

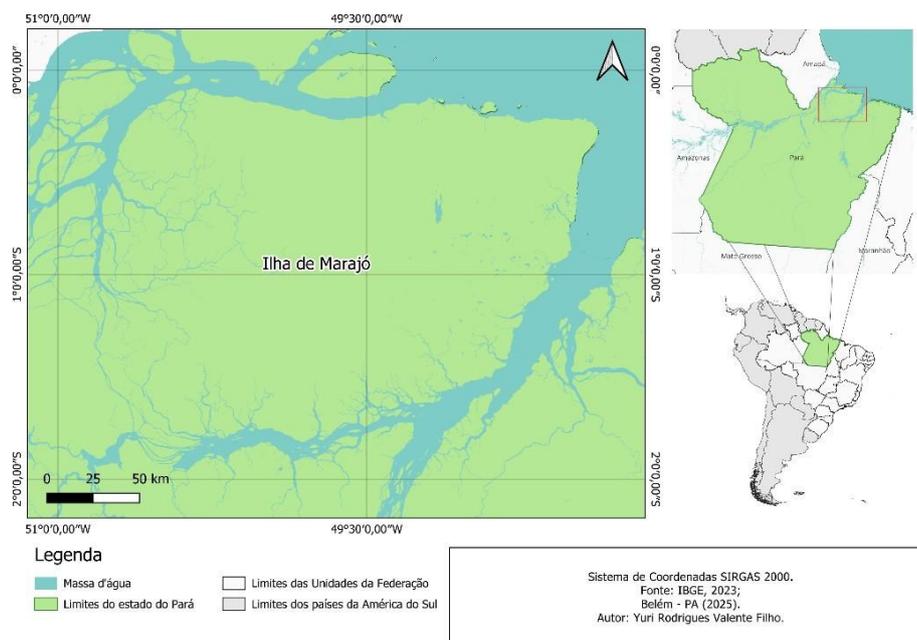
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Marajó está localizada ao Norte do Brasil, pertence ao arquipélago do Marajó no Estado do Pará, maior complexo flúvio marítimo do mundo, o qual ocupa uma área de 49.606 km<sup>2</sup> (Amaral *et al.*, 2007).

Compõe a Área de Proteção Ambiental do Arquipélago do Marajó - APA Marajó (Artigo 13, Inciso VI <sup>1</sup>º da Constituição do Estado do Pará, promulgada em 05/10/89), pertencendo ao Governo Estadual e controlada pela Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – SECTAM. Nesta também se encontra a Reserva Ecológica da Mata do Bacurizal e do Lago Caraparu (Lei nº 109 de 19/06/87), que pertence à prefeitura de Salvaterra, localizada a nordeste da Ilha do Marajó, neste município (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Valente Filho (2025).

## 2.2. COLETA DE DADOS

As informações foram coletadas com base em reuniões realizadas em comunidades pesqueiras no Marajó e na legislação vigente. As reuniões ocorreram no município de Curralinho, Marajó-PA. Os encaminhamentos e apontamentos das reuniões entre os atores envolvidos (sociedade e governo) foram transcritos seguindo a cronologia temporal da construção das medidas de ordenamento.

A partir dessas informações, elaboraram-se organogramas do processo de construção de medidas de ordenamento, assim como o papel dos pescadores no processo decisório, evidenciando os dialetos utilizados e a percepção ambiental sobre os problemas a serem solucionados na região.

Posteriormente, foram elaborados diagnósticos com sugestões de ordenamento até a consolidação da política de ordenamento. O Decreto nº 1.686, de 29 de junho de 2021, estabelece critérios para a formalização dos Acordos de Pesca no Estado do Pará foi utilizado como eixo legislativo orientador. A coleta das informações ocorreram entre agosto de 2023 a setembro de 2023 e outubro de 2024.

## 2.3. ANÁLISE DE DADOS

A descrição da atividade pesqueira foi obtida por meio de reuniões destinadas à caracterização da pesca, reunindo informações sobre o local de pesca, artes utilizadas, dias

pescados, volume capturado, número de pescadores, comercialização e outras variáveis necessárias para construção das medidas de ordenamento.

As informações coletadas foram processadas e transcritas, com o objetivo de evidenciar os resultados obtidos a partir da metodologia adotada para a construção do ordenamento na área selecionada para implementação do Acordo de Pesca.

Considerando os dispositivos legais que regulamentam a publicidade de informações de pessoas jurídicas de direito público ou privado, este trabalho segue as normativas vigentes, tendo em vista o caráter confidencial e sensível dos dados, respeitando o sigilo de informações como nomes, endereços, dados pessoais dos proprietários e outras informações sensíveis.

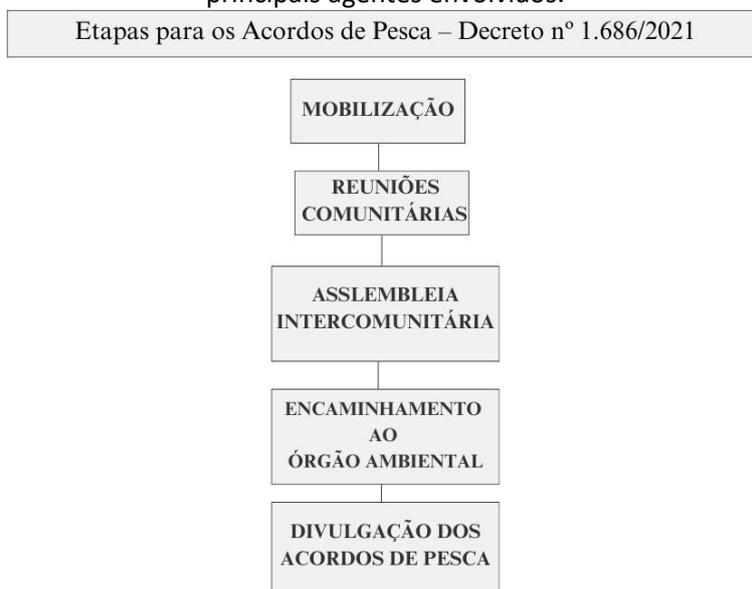
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. TRATATIVAS INICIAIS

O processo seguiu as etapas de mobilização, reuniões comunitárias, assembleia intercomunitária, encaminhamento ao órgão competente e homologação das medidas de base comunitária pelo órgão ambiental.

Em 2023, ocorreram as tratativas iniciais para a construção das medidas de ordenamento (Acordo de Pesca Intermunicipal do camarão), realizadas na sede da Associação de Pescadores da Ilha de Araras, localizada no Complexo Marajó, Marajó, Pará. Na Figura 2, apresenta-se o organograma da metodologia adotada, destacando as etapas e os agentes envolvidos na construção do Acordo de Pesca.

Figura 2: Organograma do processo de construção do Acordo de Pesca, destacando as etapas e os principais agentes envolvidos.



Fonte: O autor (2025).

As tratativas foram mediadas pelas lideranças das comunidades, representantes governamentais e entidade de classes, com a participação dos comunitários. No caso da região do Marajó, as medidas de ordenamento iniciais foram definidas a partir da contribuição dos comunitários, que em comum acordo foram responsáveis pela elaboração de vários eixos orientadores, segundo sua livre percepção, conforme destacados a seguir:

**Eixo I: Sobre as embarcações:**

- Adequar a velocidade do tráfego de embarcações na região;
- Proibir o tráfego de motores rabudos (motor estacionário) em igarapés;
- Proibir a troca do sistema de descarga dos motores rabudos, sendo obrigatório manter o silenciador original de fábrica.
- Regularizar as embarcações de pesca;

**Eixo II: Sobre a atividade pesqueira:**

- Soltar as fêmeas ovadas dos camarões;
- Estabelecer espaçamento mínimo entre as telas de 5 milímetros e abertura do funil de até 30 milímetros;
- Proibir o uso de matapi nos igarapés durante as marés lançantes e marés secas;
- Instituir uma pausa na captura (período de defeso do camarão) por 4 meses, de 1º de janeiro a 30 de abril;
- Suspender a pesca do camarão durante a safra do açáí.
- Criar dois períodos de defeso para suspensão da captura do camarão: a) 1º de fevereiro a 30 de abril; b) 1º de agosto a 30 de outubro (ou 30 de setembro, dependendo do grupo).
- Determinar que os matapis sejam colocados a uma distância mínima dos aningais;
- Proibir o uso de arrastões com malhadeira nas praias.

**Eixo III: Sobre as técnicas de captura:**

- Proibir o uso de venenos (barragem);
- Proibir o uso de malhadeira com malha inferior a 30 milímetros;
- Proibir a pesca com mergulho, flecha e arpão;
- Proibir a pesca de mergulho com lente para a captura do tucunaré nos rios.
- Proibir o uso de armadilhas industrializadas (tipo covão), permitindo somente matapis confeccionados pela comunidade;

- Proibir o uso de varas de aninga para prender matapis, por liberarem substâncias tóxicas ao apodrecer;
- Proibir a tapagem de rios e igarapés;

**Eixo IV: Sobre a sustentabilidade e sanções:**

- Estabelecer um limite de até 10 quilos de pescado por dia, por família, durante o período de defeso;
- Definir que o Acordo de Pesca Intermunicipal terá validade de 2 (dois) anos;
- Punir os infratores que descumprirem a proibição da pesca no período do defeso e demais restrições acordadas, conforme as leis ambientais vigentes.

### **3.2. ENCAMINHAMENTOS FINAIS DAS PROPOSTAS DE ORDENAMENTO**

Após os debates e definições das propostas para ordenamento sustentável do camarão da Amazônia, a etapa seguinte foi unificar e compartilhar os regramentos com a comunidade para que pudessem se apropriar do produto gerado. Dessa forma, no segundo semestre de 2023 as propostas foram unificadas e compartilhadas com os próprios usuários dos recursos pesqueiros, conforme destacados abaixo:

Assim, foram estabelecidos os seguintes regramentos:

**I – Definição do Período:**

- Proposta de defeso de 1º de janeiro a 30 de abril: não aprovada;
- Proposta de defeso de 1º de fevereiro a 30 de abril: aprovada por unanimidade.

**II – Padronização do Matapi (Espaçamento entre as Talas):**

- Espaçamento entre as talas de 8 mm: aprovado por unanimidade;
- Abertura do funil de 30 mm: aprovado por unanimidade.

**III – Período de Vigência do Acordo:**

- Estabelecido prazo de validade de 2 (dois) anos para o acordo, podendo ser alterado caso necessário.

#### **IV Proibições:**

- a) Proibir a pesca nos igarapés e dentro do mato: aprovado por unanimidade;
- b) Proibir totalmente a pesca do camarão nos igarapés, matas e aningais em qualquer período do ano: aprovado pela maioria;
- c) Proibir arrastões com malhadeiras nas praias: aprovado por unanimidade;
- d) Proibir o tráfego de motores "rabudos" nos igarapés durante o período de defeso do camarão: aprovado por unanimidade;
- e) Proibir o uso de armadilhas industrializadas (armadilha tipo covó), sendo permitido apenas o uso de matapis confeccionados pela comunidade, conforme os padrões e espaçamentos definidos neste acordo: aprovado por unanimidade;
- f) Proibir o uso de varas de aningas para fixação dos matapis: aprovado por unanimidade;
- g) Proibir a tapagem de rios: aprovado por unanimidade;
- h) Proibir atividades pesqueiras realizadas por pessoas de outras regiões: aprovado por unanimidade.

#### **V - Distanciamento da Margem do Rio:**

- a) Colocar os matapis a uma distância mínima de 10 metros dos aningais e matas, exceto para a beira funda: aprovado por unanimidade.

#### **IV - Considerações Gerais:**

- a) Soltar as fêmeas do camarão que estiverem ovadas: aprovado por unanimidade;
- b) Regularizar as embarcações de pesca: aprovado por unanimidade;
- c) É proibido trocar o silenciador dos motores "rabudos" por descargas irregulares: aprovado por unanimidade.

#### **VII - Monitoramento:**

- a) Implantar/nomear agentes ambientais comunitários para fiscalizar e receber as denúncias de possíveis infrações: aprovado por unanimidade.

#### **VIII - Abrangência do Acordo de Pesca Comunitário - Currálinho:**

Comunidades pertencentes à Região da Baía das Araras e Rio Pará (Currálinho):

Destaca-se que a criação das medidas de ordenamento foi protagonizada diretamente pela comunidade, com decisões tomadas em conjunto ou por votação majoritária. Os demais

parceiros contribuíram na formalização do acordo, considerando as deliberações apresentadas.

### 3.3. CONSOLIDAÇÃO DA POLÍTICA PÚBLICA DE ORDENAMENTO

Após a etapa de construção das medidas de ordenamento, foi realizada a validação das medidas de ordenamento para implementação via Acordo de Pesca.

Dessa forma, procedeu-se o compartilhamento das medidas construídas com a participação em assembleia comunitária. Cada medida foi submetida à apreciação e aprovação dos pescadores. Os principais pontos debatidos incluíram:

- Regras para a pesca do camarão e de outras espécies;
- Medidas de proibição para a proteção do ecossistema local;
- Identificação dos atores responsáveis pela fiscalização e monitoramento das regras;
- Estabelecimento de penalidades para infrações cometidas.

Os debates ocorreram de maneira democrática e transparente, permitindo que todos os participantes contribuíssem para a definição dos pontos abordados. Ao final das discussões, todos os artigos foram aprovados, consolidando as deliberações das reuniões anteriores.

A reunião de validação das medidas de ordenamento (Acordo de Pesca) foi aprovada e concluída com unanimidade, representando um marco significativo para a gestão sustentável dos recursos pesqueiros, especialmente do camarão da Amazônia, na região do Marajó.

As decisões tomadas refletem o compromisso das comunidades e instituições envolvidas com a conservação ambiental e a sustentabilidade da pesca, promovendo benefícios para todos os atores do território marajoara e paraense.

O produto final das tratativas comunitárias sobre o ordenamento do camarão foram homologadas através do Acordo de Pesca Intermunicipal do camarão-da- Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*), firmado por comunidades tradicionais da Baía das Araras e Rio Pará, localizadas nos municípios de Curralinho e Oeiras do Pará, no estado do Pará.

O órgão ambiental do estado do Pará formalizou em 20 de janeiro de 2025, o primeiro Acordo de Pesca do Camarão-da-Amazônia - *Macrobrachium amazonicum* no Arquipélago do Marajó. Este acordo, homologado pela Portaria nº 56/2025, estabelece normas para a atividade pesqueira na região, visando a sustentabilidade e a preservação da espécie.

## 4. CONCLUSÃO

A política ambiental de base comunitária é fundamental para construção dos Acordos de Pesca e representa um marco na gestão sustentável dos recursos pesqueiros, evidenciando a eficácia de processos participativos que envolvem diretamente as comunidades pesqueiras.

Ao integrar o conhecimento tradicional dos pescadores com dados científicos, esses acordos asseguram a preservação ambiental e a continuidade da atividade pesqueira. A participação da comunidade é essencial para a construção das medidas para os acordos de pesca, garantindo que as normas estabelecidas reflitam as necessidades locais e promovam o compromisso coletivo com a sustentabilidade.

A definição conjunta de regras, como períodos de defeso e tamanhos mínimos de captura, reforça a importância da gestão compartilhada e da fiscalização da comunidade. Além disso, a oficialização legal desses acordos proporciona respaldo para sua implementação efetiva, contribuindo para a segurança alimentar e o bem-estar das comunidades envolvidas. Portanto, os Acordos de Pesca exemplificam a eficácia da governança participativa na harmonização entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, D. D.; VIEIRA, I. C. G.; COSTA, D. H. M.; OLIVEIRA, L. C.; MORAES, J. R.; SOUSA, T. F. S. Campos e florestas das bacias dos rios Atué e Anajás, ilha do Marajó, Pará. Belém: **Museu Paraense Emílio Goeldi**, 2007. 110 p.
- ALCÂNTARA, G. L. C.; KATO, H. C. A. Boas práticas de manipulação na comercialização do camarão fresco em feiras livres de Belém, PA. **Journal of bioenergy and food science**, v. 3, n. 3, p. 139-148, 2016.
- BENTES, B. S., MARTINELLI, J. M., Souza, L. S., CAVALCANTE, D. V., ALMEIDA, M. C. D., ISAAC, V. J. Spatial distribution of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda, Caridea, Palaemonidae) in two perennial creeks of an estuary on the northern coast of Brazil (Guajará Bay, Belém, Pará). **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, p. 925- 935, 2011.
- DO AMARAL, Dário Dantas; MANTELLI, Luis Rogério; ROSSETTI, Dilce de Fatima. Palaeoenvironmental control on modern forest composition of southwestern Marajo Island, Eastern Amazonia. **Water and Environment Journal**, v. 26, n. 1, p. 70-84, 2012.
- GOVERNO DO PARÁ. **Governo do Pará firma primeiro Acordo de Pesca Intermunicipal do Camarão, no Marajó**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), 22 jan. 2025. Disponível em:

<https://www.semas.pa.gov.br/2025/01/22/governo-do-para-firma-primeiro-acordo-de-pesca-intermunicipal-do-camarao-no-marajo/>. Acesso em: 15 maio 2025.

- LIRA, M. G.; NÓBREGA, M. F.; LINS OIVEIRA, J. E. Caracterização da pescaria industrial de espinhel-de- superfície no Rio Grande do Norte. **Boletim do Instituto de Pesca**, 43(3): 446 - 458, 2017.
- MARTINS, J. C.; CINTRA, Israel H. A.; SARPEDONTI, V. Seletividade da rede malhadeira na captura de *Hemiodus unimaculatus* no baixo Rio Tocantins, Amazônia, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, n. 2, p. 274-282, 2017.
- MONGABAY. **Gerenciamento de estoque de peixes (e pescadores) no Rio Canaticu do Brasil**. Mongabay Brasil, 2016. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2016/05/gerenciamento-estoque-peixes-pescadores-no-rio-canaticu-do-brasil/>. Acesso em: 15 maio 2025.
- RAMOS, A. da S.; PEREIRA, L. D. J. G.; CINTRA, I. H. A.; BENTES, B. S. Etnoconhecimento de pescadores artesanais de *Macrobrachium rosenbergii* em campos alagados de uma região Amazônica-Brasil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 4, n. 1, p. 93-105, 2016.
- SANTOS, K. P. P.; VIEIRA, I. R.; ALENCAR, N. L.; SOARES, R. R.; BARROS, R. F. M. Fishing practices and ethnoichthyological knowledge in the fishing community of Miguel Alves, Piauí, Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, 44(1): 25-34, 2018.
- SEDREZ, M. C., dos SANTOS, C. F., MARENZI, R. C., SEDREZ, S. T., BARBIERI, E., Branco, J. O. Caracterização socioeconômica da pesca artesanal do camarão sete-barbas em Porto Belo, SC. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 39, n. 3, p. 311-322, 2013.
- SILVA, M. C. N.; FRÉDOU, F. L.; ROSA FILHO, J. S. Estudo do crescimento do camarão *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) da Ilha de Combú, Belém, Estado do Pará. **Amazônia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 2, n. 4, p. 85- 104, 2007.
- VIEIRA, I. M.; ARAÚJO-NETO, M. D. Bioecologia e pesca do camarão, *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) no baixo rio Amazonas-AP. **Universidade de Brasília, Brasília. Brazil**, 2003.

# CAPÍTULO XXIV

## O USO DE PLANTAS MEDICINAIS PELA COMUNIDADE AFRO-BRASILEIRA DA CARNAÚBA: CONHECER PARA VALORIZAR

### THE USE OF MEDICINAL PLANTS BY THE AFRO-BRAZILIAN COMMUNITY OF CARNAÚBA: KNOWLEDGE FOR APPRECIATION

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-24

Francisca Alves de Medeiros Couto <sup>1</sup>

Francilda Alcantara Mendes <sup>2</sup>

Liana Bastos Bezerra <sup>3</sup>

Sueli Gomes de Figueredo Arcênio <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Letras pela UERN. Coordenadora de Iniciação Científica, SME – Jati-CE.

<sup>2</sup> Doutora em Educação (UFC). Professora Efetiva do curso de Direito da Universidade Regional do Cariri (URCA), Igratu-CE., Professora do curso de Direito do Centro Universitário Leão Sampaio (UNILEÃO), Juazeiro do Norte-CE.

<sup>3</sup> Mestre em Educação (UFCG). Servidora Técnica Administrativa em Educação da UFCA, Juazeiro do Norte-CE.

<sup>4</sup> Especialista em Gestão e Coordenação Pedagógica. Professora da Secretaria de Educação de Jati-CE.

#### RESUMO

Estudar as especificidades relativas ao uso de plantas medicinais com finalidades terapêuticas em comunidades afro-brasileiras sugere emergir em um cenário cercado de crenças e valores culturais construídos ao longo do tempo. Nessa perspectiva, a presente pesquisa etnográfica, de abordagem qualitativa, discute sobre o uso de plantas medicinais por comunidades afro-brasileiras. O objetivo é investigar a cultura popular quanto ao uso de plantas medicinais pela comunidade afro-brasileira da Vila Carnaúba, em Jati/CE. Para a coleta de dados, foram aplicados questionários e entrevistas. Os resultados apontam que a maioria não relaciona as práticas de uso de plantas medicinais com suas origens étnico-raciais. Apenas 20% sugerem uma relação das práticas de curas com plantas à ancestralidade afro-brasileira. O estudo também revela que o uso de plantas medicinais está associado a questões econômicas. O produto final é um documento que reúne as receitas e as histórias dos participantes sobre suas origens, costumes, crenças e conhecimentos sobre o uso das plantas. Observamos ainda o fortalecimento do protagonismo científico dos participantes e a valorização da cultura afro-brasileira.

**Palavras-chave:** Plantas medicinais. Cultura afro-brasileira. Cultura popular.

#### ABSTRACT

Studying the specificities relating to the use of medicinal plants for therapeutic purposes in Afro-Brazilian communities suggests emerging in a scenario surrounded by beliefs and cultural values built over time. From this perspective, this ethnographic research, with a qualitative approach, discusses the use of medicinal plants by Afro-Brazilian communities. The objective is to investigate popular culture regarding the use of medicinal plants by the Afro-Brazilian community of Vila Carnaúba, in Jati/CE. For data collection, questionnaires and interviews were applied. The results indicate that the majority do not relate the practices of using medicinal plants with their ethnographic origins. Only 20% suggest a relationship between plant healing practices and Afro-Brazilian ancestry. The study also reveals that the use of medicinal plants is associated with economic issues. The final product is a document that brings together the participants' recipes and stories about their origins, customs, beliefs and knowledge about the use of plants. We also observed the strengthening of the scientific protagonism of the participants and the appreciation of Afro-Brazilian culture.

**Keywords:** Medicinal plants. Afro-Brazilian culture. Popular culture.



## 1. INTRODUÇÃO

O uso das plantas constitui-se em um dos recursos mais antigos utilizados pelo homem, tanto na alimentação quanto no tratamento de enfermidades. Grande parte desse conhecimento foi passado oralmente ao longo das gerações que, acompanhado de mitos e rituais, foram constituindo partes importantes de culturas locais.

Estudar as especificidades relativas ao uso de plantas medicinais com finalidades terapêuticas em comunidades afro-brasileiras sugere emergir em um cenário cercado de crenças e valores culturais construídos ao longo do tempo. São conhecimentos transmitidos de uma geração a outra, nos âmbitos familiares e sociais e, muitas vezes, permanecem restritos aos membros daquele grupo. Ademais, as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação das Relações Étnico-Raciais (Brasil, 2006) orientam as escolas para a valorização da cultura afro-brasileira.

Partindo desses pressupostos, a presente pesquisa discute sobre o uso de plantas medicinais pela comunidade de afro-brasileiros da Vila Carnaúba, uma comunidade rural, localizada ao sul do município de Jati/CE. Tendo em vista que conhecer esses elementos históricos culturais por meio de um estudo científico, buscando resgatar as memórias de uma comunidade relativas ao uso de plantas medicinais também nos coloca como protagonistas.

Nesse contexto, os professores de ciências e estudantes dos 6º e 7º anos da Escola de Ensino Fundamental Doralice Ferreira de Sousa, discutiram, durante as aulas de ciências, sobre os possíveis caminhos para conhecer, de forma científica, a cultura popular do uso de plantas medicinais pela comunidade afro-brasileira. Assim, buscou-se promover a valorização cultural associada à aquisição de conhecimento científico, por meio de diferentes atividades individuais e coletivas sobre o uso de plantas medicinais por um grupo específico de moradores afro-brasileiros.

Identifica-se como objetivo geral do estudo a investigação da cultura popular quanto ao uso de plantas medicinais pela comunidade afro-brasileira da Vila Carnaúba, em Jati/CE. Como objetivos específicos destaca-se identificar a quantidade de afro-brasileiros carnaubenses que conhecem ou fazem o uso das plantas medicinais; coletar as histórias antigas e experiências vividas pelos informantes relacionadas ao uso de plantas medicinais; identificar as peculiaridades nos relatos coletados sobre a utilização de plantas medicinais

pela comunidade da Carnaúba que se autodeclara afro-brasileiras; documentar os relatos a fim de preservar essas histórias para as gerações futuras.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para entender os significados das experiências de uma comunidade afro-brasileira relacionadas à utilização de plantas medicinais, faz-se necessária uma perspectiva teórica que aborda o uso de plantas medicinais em comunidades afro-brasileiras, bem como sobre o resgate cultural das memórias desse grupo. Diante disso, apresentamos, nesta seção, a revisão teórica de obras que sustentam a presente pesquisa a partir de dois eixos centrais: uso de plantas medicinais em comunidades afro-brasileiras e valorização da cultura afro-brasileira.

As experiências com a utilização de plantas têm sido vivenciadas pelo homem há muito tempo e representam um importante traço cultural a ser preservado. Plantas medicinais, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) é "qualquer vegetal que possui, em um ou mais órgãos, substâncias que podem ser utilizadas com fins terapêuticos ou que sejam precursores de fármacos semissintéticos" (OMS, 1998). Ainda de acordo com a OMS, mais de 80% da população mundial utiliza plantas medicinais para tratar da saúde, principalmente em países que estão em desenvolvimento.

No Brasil, a legitimação do uso de plantas medicinais com fins de tratamento e atenção à saúde surgiu na década de 80. Porém, a oficialização veio por meio da criação da Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápico aprovada por meio do decreto nº 5.813/2006. A partir desse decreto, foi criado o Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF), em 2008. O programa recomenda aos estados o desenvolvimento de políticas públicas para facilitar a integração ao sistema de saúde, bem como incentivar o uso racional das plantas medicinais. No entanto, há de se considerar o valor cultural embutido nessas práticas.

Nesse sentido, pode haver crenças e valores culturais ligados à utilização de plantas medicinais nas comunidades afro-brasileiras. Segundo Rosa (2014, p. 47), essa utilização apresenta características peculiares:

O emprego das plantas medicinais com finalidades terapêuticas possui especificidades entre as famílias afroamericanas [...]. Entre as famílias da raça/cor negras brasileiras isso não é diferente; embora os membros dessas mesmas famílias negras desconheçam os aspectos religiosos relacionados ao

uso das plantas, essas são amplamente utilizadas e representam práticas de natureza cultural, embasadas em conhecimentos transmitidos de uma geração à seguinte.

Diante disso, pesquisar o ambiente no qual surgem crenças e valores relacionados aos cuidados com a saúde, de membros de famílias afro-brasileiras, é importante não somente para conhecer as práticas singulares dessa comunidade, mas trata-se também de valorizar os processos históricos e culturais dos afro-brasileiros, almejando uma educação de relações étnico-raciais positivas, como orientam as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação das Relações Étnico-Raciais (Brasil, 2006).

Sobre a valorização da cultura afro-brasileira, a Resolução nº 1, de 17 de junho 2004, do Conselho Nacional de Educação/Conselho Pleno/DF, em seu parágrafo 4º, normatiza que “os sistemas de ensino incentivarão pesquisas sobre processos educativos orientados por valores, visões de mundo, conhecimentos afro-brasileiros [...]” (Brasil, 2006, p. 31). Desse modo, é dever da escola desenvolver atividades voltadas para o conhecimento e para a valorização das contribuições histórico-culturais dos povos afro-brasileiros. Além disso, é necessário desconstruir a mentalidade racista e discriminatória que vem se prolongando até os dias atuais.

### 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa tem abordagem qualitativa, que segundo Richardson (2008), busca compreender os significados e características de uma determinada situação. Nessa perspectiva, investigamos a cultura popular quanto ao uso de plantas medicinais pela comunidade afro-brasileira da Vila Carnaúba, em Jati/CE. Trata-se de uma pesquisa etnográfica, pois abrange a descrição de eventos que ocorrem na vida de um grupo em contextos socioculturais específicos (Geertz, 2008). No caso deste estudo, um grupo de afro-brasileiros, residentes numa pequena vila, cuja economia é baseada na agricultura familiar.

Sobre esses aspectos, Santos (2019) considera necessária a descolonização dos saberes, ou seja, a abertura de espaços para a produção de conhecimento científico pautada na diversidade dos saberes, na experiência cotidiana e no senso comum, ouvindo-se o que a comunidade tem a dizer. O mesmo autor (2019) aponta que deve haver ainda a valorização das tradições orais, do diálogo intercultural e das vivências de grupos excluídos historicamente, em que as culturas possam unir características de uma e de outra. Tais orientações estão em consonância com as bases deste estudo, uma vez que buscamos, por

meio das entrevistas, conhecer a cultura popular de um grupo de afro-brasileiros, relacionadas ao uso de plantas medicinais.

Os informantes são 09 moradores da Vila Carnaúba que se autodeclaram afro-brasileiros. A escolha desse grupo de informantes se deu para atender ao objetivo de identificarmos as peculiaridades da cultura afro-brasileira quanto ao uso de plantas medicinais. A coleta dos dados foi realizada nos meses de maio a outubro e se deu por meio de questionários e entrevistas semiestruturadas gravadas, abordando informações referentes à utilização de plantas medicinais. As entrevistas foram tomadas no sentido amplo da comunicação verbal, e no sentido restrito de coleta de informações sobre os conhecimentos relativos às plantas medicinais da comunidade.

Também foram realizadas diferentes atividades e estratégias para o conhecimento sobre o uso de plantas medicinais e compreensão da importância da cultura afro-brasileira: estudo da atuação dos princípios ativos das plantas nas ações medicamentosas; conhecimento das técnicas e dos cuidados adequados no manuseio das plantas medicinais; realização de atividade prática demonstrando as diversas formas de preparo das plantas medicinais; visita a casa de pessoas da comunidade que cultivam várias espécies de plantas medicinais; investigações sobre o passado e a ancestralidade afro-brasileira; confecção de um mural e de um portfólio com dados de todas as atividades desenvolvidas; apresentação dos conhecimentos adquiridos para a comunidade estudantil.

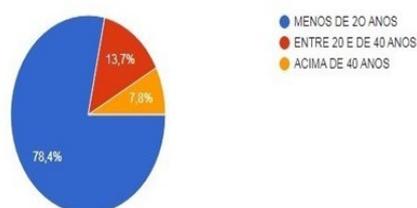
A análise dos dados, na perspectiva qualitativa, teve seu foco voltado à exploração do conjunto de opiniões e de representações sociais sobre o tema investigado (Minayo, 2008). Dessa forma, a análise foi realizada a partir dos dados coletados nas entrevistas e nos questionários digitais aplicados. As entrevistas (áudios, vídeos) foram convertidas em textos. Os vídeos e as imagens utilizados na pesquisa foram devidamente autorizados pelos informantes. Para a análise das entrevistas, foi realizado o cruzamento dos dados coletados. Assim, foram identificados os pontos em comum e os pontos divergentes sobre utilização de plantas medicinais pelos participantes deste estudo. Os pontos com maior número de correspondência foram organizados e escritos. Esse material representa o produto das informações capturadas neste processo investigativo.

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Serão discutidos, nesta seção, os resultados obtidos com aplicação dos questionários e das entrevistas semiestruturadas, que buscaram investigar a cultura popular quanto ao uso de plantas medicinais pela comunidade afro-brasileira da Vila Carnaúba, em Jati/CE. Os gráficos a seguir mostram o resultado dos questionários aplicados com o objetivo de conhecer o que as pessoas em geral sabem sobre plantas medicinais.

Gráfico 1 – Faixa etária dos participantes

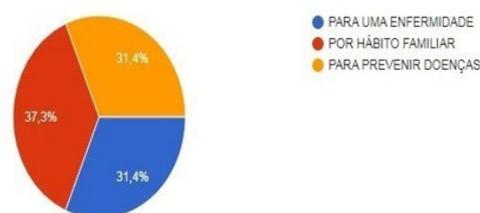
QUAL A SUA IDADE?



Fonte: autoria própria.

Gráfico 2 – Finalidade do uso de plantas medicinais

SE VOCÊ JÁ FEZ USO DE ALGUMA PLANTA MEDICINAL, QUAL FOI A FINALIDADE?

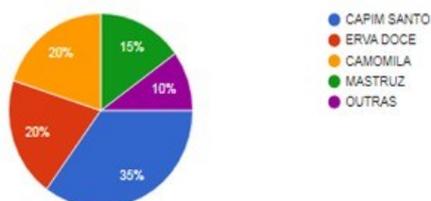


Fonte: autoria própria.

No gráfico 1, podemos observar que a maioria dos entrevistados, 78,4%, tem menos de 20 anos de idade, 13,7% têm entre 20 e 40 anos e 7,8% acima de 40 anos (as duas últimas porcentagens correspondem aos funcionários da escola e professores). O gráfico 2 mostra que 37,3% das pessoas entrevistadas faz uso de plantas medicinais por hábito familiar. Isso evidencia que a comunidade Carnaúba ainda utiliza bastante plantas medicinais no dia a dia. E 31,4% faz uso de plantas para prevenir enfermidades ou tratar doenças simples.

Gráfico 3: Plantas conhecidas e usadas

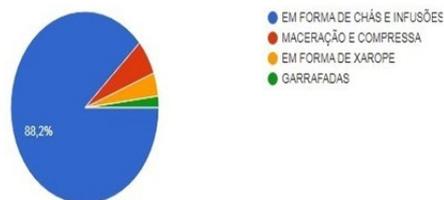
QUAIS PLANTAS CONHECE E/OU FEZ USO?



Fonte: autoria própria.

Gráfico 4: Formas de uso das plantas medicinais

DE QUAL FORMA VOCE COSTUMA USAR AS PLANTAS MEDICINAIS?



Fonte: autoria própria.

No gráfico 3 - foi perguntado aos informantes quais plantas elas conhecem ou já fizeram uso. O capim santo é a planta mais conhecida e mais usada pela comunidade, 30% das pessoas fazem uso dela. Em seguida, 20% conhecem ou usam erva cidreira e camomila. 15% faz uso do mastruz e 10% de outras plantas. Já o gráfico 4 deixa claro que a maioria das pessoas, 88,2%, usa as plantas em forma de chás ou infusões. Também foram pontuadas plantas maceradas ou em forma de compressas, em forma de xaropes e também em forma de garrafadas.

No processo de análise das entrevistas, conseguimos identificar informações sobre fatos e opiniões relatados pelos participantes. Compreendemos, no entanto, que a avaliação da realidade é subjetiva, ou seja, baseia-se apenas na fala de alguém para julgar uma situação. Desse modo, serão apresentados aqui, como resultado, os pontos convergentes e mais repetidos nos textos analisados.

A Vila Carnaúba, localizada em Jati/CE, tem 1876 habitantes e somente 13 famílias se autodeclaram afro-brasileiras. As entrevistas que buscaram investigar a cultura popular quanto ao uso de plantas medicinais pela comunidade afro-brasileira da Vila Carnaúba, em Jati/CE, foram aplicadas a nove informantes. Os dados organizados em textos e em tabela mostram, entre outras informações, características quanto à origem, aos costumes e às formas de uso das plantas medicinais.

Os informantes moram na vila há mais de 30 anos e a maioria veio de outros municípios. Apenas um deles nasceu na vila. Aproximadamente 70% dos informantes instalaram-se no lugarejo por causa da abundância de água. Sobre as lembranças da infância, a maioria faz referências ao trabalho na roça, mostrando que a origem econômica foi baseada na agricultura. Também relatam que, apesar das dificuldades, brincavam muito.

As plantas medicinais mais citadas foram alecrim, juá, malva, boldo e mastruz. Quanto à origem do costume, cerca de 90% afirmam que aprendeu esse costume com a família. Os remédios caseiros eram empregados para resolver problemas de saúde tratados como simples, como gripes, resfriados, dores de pequenos acidentes domésticos, dores estomacais e diarreias.

Quanto aos costumes ligados à ancestralidade afro-brasileira, apenas 20% relacionam as práticas de uso de plantas medicinais com suas origens étno-raciais. Nas falas de F1, “Eu aprendi com minha mãe a fazer a cura com as plantas e a benzer para beber depois. Essas coisas só tinha na minha família que é toda de pretos”, e do informante F2 “Essas rezas eram

do povo preto que sabia como fazer para curar mais rápido” podemos perceber que os informantes relacionam as práticas de cura (benzer) com plantas aos povos de origem afro-brasileira. De acordo com Rosa (2014), existem aspectos religiosos típicos de famílias de origem afroamericanas ligados ao uso de plantas medicinais.

Os demais informantes não lembraram ou não relacionaram o uso das plantas medicinais com sua origem afro-brasileira. Percebemos ainda que o uso de plantas medicinais pode estar ligado a questões econômicas. Segundo o informante F8, uma das importâncias de usar as plantas é o baixo custo.

Os resultados encontrados nos permitiram uma aproximação com as práticas de uso das plantas medicinais por famílias afro-brasileiras. O documento resultante reúne as receitas caseiras informadas pelos participantes e conta as histórias sobre suas origens, costumes, crenças e conhecimentos sobre o uso das plantas. Isso abre espaço para que possamos valorizar sua cultura e conhecer mais sobre nossa própria ancestralidade. Segundo Diretrizes Curriculares Nacionais é dever da escola desenvolver atividades voltadas para o conhecimento e para a valorização das contribuições histórico-culturais dos povos afro-brasileiros.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou conhecer as histórias antigas e experiências vividas pelos informantes relacionadas ao uso de plantas medicinais. O uso dessas plantas com finalidades terapêuticas, preparadas por meio de receitas caseiras, simboliza os costumes e crenças do grupo estudado que foram passados de geração a geração.

Entendemos que conhecer essas crenças, valores e práticas culturais de cuidado e cura de um grupo de afro-brasileiros possibilitou a construção de aprendizagens significativas e o desenvolvimento do pensamento crítico sobre um grupo de autores sociais marginalizados pelo processo histórico como orientam as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação das Relações Étnico-Raciais.

Observamos, outrossim, que a escolha pela etnografia de abordagem qualitativa foi eficaz para o alcance dos objetivos desta pesquisa. Visto que o objetivo geral de investigar a cultura popular quanto ao uso de plantas medicinais pela comunidade afro-brasileira da Vila Carnaúba, em Jati/CE foi alcançado, pois foi possível conhecer os eventos ocorridos na vida do grupo estudado, observando-se seu contexto sociocultural. Ficou evidente também que o trabalho teve como base a descolonização dos saberes, uma vez que promoveu o diálogo

intercultural e a investigação das experiências cotidianas de um grupo excluído historicamente.

Finalmente, pontuamos a pertinência do produto da nossa pesquisa, pois, com a organização dessas experiências descritas e organizadas em um documento contendo as histórias e receitas caseiras preparadas com plantas medicinais, garantimos o registro e o acesso dos moradores a esse material histórico-cultural. Consideramos também que este é um importante passo na luta pela valorização da cultura popular do povo negro na sociedade brasileira. E, naturalmente, contribui para o desenvolvimento de uma atitude crítica diante de fatos históricos.

## REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, C. Livro didático e saber escolar: 1810-1970. **Autêntica**: Belo Horizonte, MG, 2004. p. 60-61 e 164-168.
- BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação das Relações Étnico-Raciais e para o Ensino de História e Cultura Afro-Brasileira e Africana**. Brasília: MEC, 2006.  
Disponível em: <http://www.acaoeducativa.org.br/fdh/wp-content/uploads/2012/10/DCN-s-Educacao-das-Relacoes-Etnico-Raciais.pdf>
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/bncc-20dez-site.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2022.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- GEERTZ. C. **A interpretação das culturas**. Rio de Janeiro: LTC; 2008.
- MINAYO, M. C. de S.. **O desafio do conhecimento**. 11 ed. São Paulo: Hucitec, 2008.
- OMS. Organização Mundial de Saúde. **Relatório Mundial de Violência e Saúde**. Genebra: OMS, 2002.
- RICHARDSON, R. J., et al. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- ROSA, P. L. F. S., et al. Uso de plantas medicinais por mulheres negras: estudo etnográfico em uma comunidade de baixa renda. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, São Paulo, 48:46-53, jul., 2014.
- SANTOS, B. de S. **O fim do império cognitivo**. A afirmação das epistemologias do sul. Belo Horizonte: Autêntica, 2019. 477 p.

# CAPÍTULO XXV

## PIGMENTAÇÃO NATURAL COM AÇAFRÃO E BOLDO

### NATURAL PIGMENTATION WITH SAFFRON AND BOLDO

DOI: 10.51859/amplla.mac5295-25

H. F. Viana <sup>1</sup>  
P. S. N. Parpinelli <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

<sup>2</sup> Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

#### RESUMO

Este capítulo aborda o uso do pólen em conjunto com corantes naturais, destacando seu potencial como material acessível, sustentável e educativo. O pólen, rico em nutrientes e amplamente utilizado na alimentação funcional, também pode atuar como suporte para pigmentação, reforçando práticas ligadas à química verde. O estudo dá ênfase ao açafrão (*Curcuma longa*) e ao boldo (*Peumus boldus*), ambos reconhecidos por suas propriedades medicinais e pigmentantes. O açafrão, com sua coloração amarelada proporcionada pela curcumina, mostrou resultados eficazes na pigmentação do pólen, especialmente quando usado de forma fresca. Já o boldo apresentou melhor fixação da cor após envelhecimento, sugerindo alterações químicas durante o tempo de exposição. A prática envolveu extração de pigmentos com vinagre e imersão dos grãos de pólen, seguida de observações em microscópio. Os resultados indicaram que fatores como tempo de exposição, temperatura e características morfológicas dos grãos interferem na intensidade e uniformidade da coloração. A atividade proposta permite discussões sobre química ambiental, sustentabilidade e biotecnologia, sendo aplicável em contextos escolares. Conclui-se que o uso de corantes naturais associados ao pólen é uma alternativa viável ao uso de corantes artificiais, além de incentivar práticas educativas interdisciplinares e ambientalmente conscientes.

**Palavras-chave:** Pólen. Corantes naturais. Açafrão. Boldo. Sustentabilidade.

#### ABSTRACT

This chapter explores the use of pollen in combination with natural dyes, highlighting its potential as an accessible, sustainable, and educational material. Pollen, rich in nutrients and widely used in functional foods, can also serve as a base for pigmentation, supporting practices aligned with green chemistry principles. The study focuses on saffron (*Curcuma longa*) and boldo (*Peumus boldus*), both known for their medicinal properties and natural coloring capabilities. Saffron, with its yellowish pigment derived from curcumin, showed effective results in pollen staining, especially when used fresh. Boldo, on the other hand, demonstrated better color fixation after aging, suggesting chemical changes over time. The practical activity involved extracting pigments with a 6% vinegar solution, mixing them with pollen grains, and analyzing the samples under a microscope. Results indicated that factors such as exposure time, temperature, and pollen morphology affect the intensity and uniformity of pigmentation. This hands-on experiment offers opportunities to discuss environmental chemistry, sustainability, and biotechnology in educational settings.

**Keywords:** Pollen. Natural dyes. Saffron. Boldo. Sustainability.



## 1. INTRODUÇÃO

O pólen, composto por uma variedade de elementos químicos que variam conforme a origem botânica e as condições ambientais, é um produto natural muito valorizado. O termo pólen, originado do grego “pales” = “farinha” ou “pó”, refere-se ao conjunto dos minúsculos grãos contidos nas anteras dos estames das angiospermas e gimnospermas e representam o gametófito masculino das plantas (Pereira et al., 2009; Alves, 2013a). Coletado pelas abelhas, destaca-se por sua riqueza em nutrientes, incluindo proteínas, vitaminas e antioxidantes. Os grãos de pólen variam quanto à forma, tamanho, cor e características morfológicas, o que possibilita sua utilização na identificação das espécies vegetais (Almeida-Muradian et al., 2005; Melo et al., 2009). Tem seu uso desde a alimentação saudável – onde é cada vez mais procurado como suplemento funcional devido aos seus benefícios à saúde, como a melhoria da flora intestinal e a prevenção de doenças – até como corante natural.

Os corantes, tanto naturais quanto sintéticos, desempenham um papel crucial na industrial alimentícia e têxtil. Os corantes naturais, extraídos de fontes como plantas, oferecem uma alternativa mais sustentável e menos prejudicial ao meio ambiente em comparação aos corantes químicos, que, embora amplamente utilizados devido à sua estabilidade e intensidade de cor, podem impactar as substâncias químicas que circulam entre a Terra, atmosfera e os seres vivos, ou seja, os nutrientes presentes no ecossistema, podendo afetar a cadeia alimentar e a qualidade da água.

### 1.1. CORANTES NATURAIS X CORANTES:

Os corantes naturais são menos agressivos ao meio ambiente e estão alinhados com os princípios da química verde (“a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas”), enquanto os sintéticos, apesar de ser eficaz, podem causar poluição e outros danos ambientais.

Este capítulo é focado na importância do açafrão (*Curcuma longa*) e do Boldo (*Peumus boldus*) como corantes naturais usados em conjunto com o pólen.

### 1.2. AÇAFRÃO (CURCUMA LONGA):

Também conhecido como cúrcuma, é uma planta extremamente reconhecida não apenas por seu uso culinário, mas também por suas propriedades medicinais e corantes. Originário da Ásia, o açafrão tem sido utilizado na medicina tradicional há séculos,

especialmente na Ayurveda – sistema indiano ancestral que trata do equilíbrio dos elementos do corpo e suas influências na saúde -, devido às suas propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e anticancerígenas.

### **1.3. PROPRIEDADES NUTRICIONAIS E BENEFÍCIOS:**

O açafrão contém um composto ativo chamado curcumina, responsável por muitos de seus benefícios à saúde. Estudos mostram que a curcumina pode ajudar a reduzir inflamação, melhorar a função cerebral e atuar como agente preventivo contra doenças crônicas como diabetes e doenças cardiovasculares. Também Demonstrou potencial no combate ao câncer, inibindo o crescimento de células tumorais.

### **1.4. AÇAFRÃO COMO CORANTE NATURAL:**

Sua coloração vibrante, varia do amarelo ao dourado, é atribuída à curcumina, tornando-o um ingrediente popular na indústria alimentícia e têxtil. Sendo uma alternativa saudável e sustentável em comparação a corantes artificiais.

#### **1.4.1. Aplicações na Indústria:**

Na indústria alimentícia, é utilizado para colorir arroz, molhos e produtos de panificação. Na têxtil, atende a demanda por produtos sustentáveis.

### **1.5. BOLDO (PEUMUS BOLDUS):**

Planta arbórea pertencente à família Monimiaceae, originária do Chile. Reconhecida na medicina popular, suas folhas tratam problemas digestivos e hepáticos. Seu uso pe documentado em farmacopeias de países como Brasil, Alemanha, Portugal e Suíça.

#### **1.5.1. Composição Química:**

Contém alcaloides, sendo a boldina o principal, além de taninos, óleos essenciais e flavonoides. A boldina tem atividade antioxidante, anti-inflamatória e hepatoprotetora, além de inibir a agregação plaquetária e proteger contra danos por radicais livres.

#### **1.5.2. Segurança no Uso:**

Há preocupações quanto à hepatotoxicidade e teratogenicidade, principalmente durante a gravidez ou usos prolongados. A compreensão de suas propriedades é essencial para seu uso seguro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nessa prática foram: Grãos de Pólen, partes das plantas como a Primavera, Hibisco, Margaridão-laranja, boldo, beterraba e açafrão. O reagente utilizado foi uma solução de vinagre a 6%. Equipamentos usados foram Béqueres de 50mL, pipetas, lâminas e microscópio.

O método de preparado foi o seguinte: As partes das plantas foi misturada com a solução de vinagre a 6% para facilitar a extração dos pigmentos. Em seguida essas soluções foram adicionadas junto aos grãos de pólen nos béqueres, ficando em repouso por um tempo para permitir a absorção da cor. Depois as lâminas foram feitas para cada corante e observadas no microscópio para análise de pigmentação. Registrando dados principalmente sobre intensidade e uniformidade da cor.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

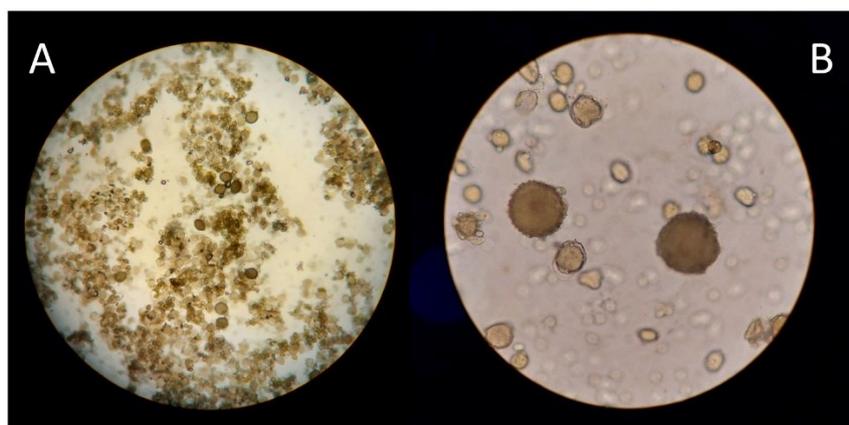
### 3.1. ANÁLISE DA PIGMENTAÇÃO FRESCA DO PÓLEN COM AÇAFRÃO

A amostra apresentou coloração amarelada, típica do açafrão. A intensidade foi moderada, indicando boa absorção do corante, mas com variações de tonalidade. A distribuição da cor foi relativamente uniforme, com algumas áreas variando em intensidade. Isso pode depender do tempo de exposição e superfície de contato dos grãos. Algumas outras características podem ser observadas, como a textura granular, o tamanho dos grãos intactos e a interação com o corante indicando uma boa interação com o pólen.

### 3.2. ANÁLISE DA PIGMENTAÇÃO DO PÓLEN COM AÇAFRÃO APÓS 7 DIAS

Após 7 dias, a intensidade da cor nos grãos de pólen parece ter diminuído em comparação com a amostra fresca. A coloração amarelada é menos pronunciada, levando assim a indicar que a intensidade da cor foi afetada ao longo dos dias. Assim como a uniformidade da coloração nos grãos apresenta variações. Alguns detalhes mostram uma coloração mais intensa, enquanto outros são mais desbotados. Essa desuniformidade indica que a absorção do corante não seja mantida de maneira uniforme após os setes dias. A textura, tamanho dos grãos continuaram iguais, granulados e intactos. Apenas teve uma redução na coloração.

Figura 1 – Açafrão fresco (A) e Açafrão após sete dias (B)



Comparado com a amostra fresca, a de após sete dias revelou uma clara intensidade e uniformidade da coloração. O tempo de exposição desempenha um papel importante na absorção e retenção da coloração pelas fibras de pólen. Na análise inicial, a amostra fresca apresentou uma coloração mais intensa e relativamente uniforme, e após sete dias a diminuição da intensidade da cor sugere que, com o tempo, a capacidade de retenção do corante diminua.

Essas interações morfológicas entre pólen e corante são de grande importância para compreender como é a fixação nos grãos. Durante a análise microscópica, observaram-se algumas características:

- **Superfície do Pólen:** A textura granular dos grãos pode influenciar na absorção do corante.
- **Tamanho e forma:** Podem variar. Grãos menores têm uma área de superfície maior em relação ao volume, potencializando a absorção.
- **Interação:** A interação entre os compostos do pólen e a curcumina pode envolver ligações e interações físicas que ajudaram a fixação. Porém, a diminuição da cor após 7 dias sugere que essas interações podem ser temporárias ou não suficientemente fortes para garantir a estabilidade a longo prazo.
- O uso de vinagre na mistura facilitou a solubilização da curcumina, aumentando a disponibilidade do corante para absorção pelos grãos de pólen.
- Além da temperatura ficar controlada a 20°C, o que também afeta a absorção.

Considerando assim, como melhor resultado para a utilização como corante natural, o açafrão preparado no mesmo dia, pois oferece maior intensidade e uniformidade de cor.

Boldo (*Peumus boldus*)

Figura 2 – Lâminas do Boldo frescas

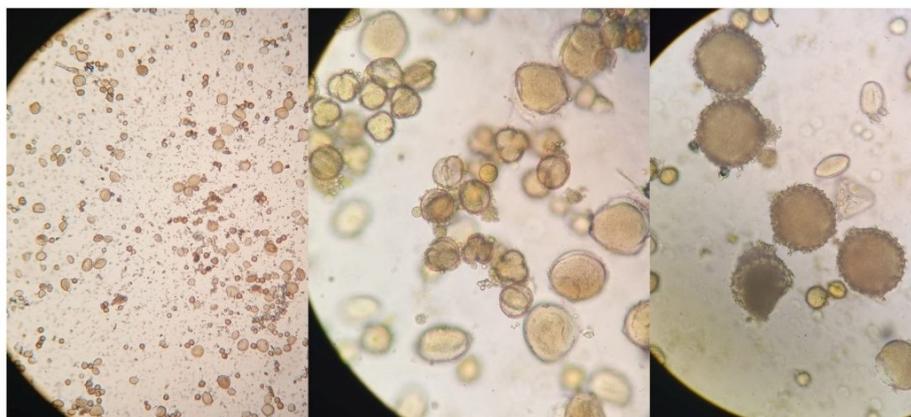
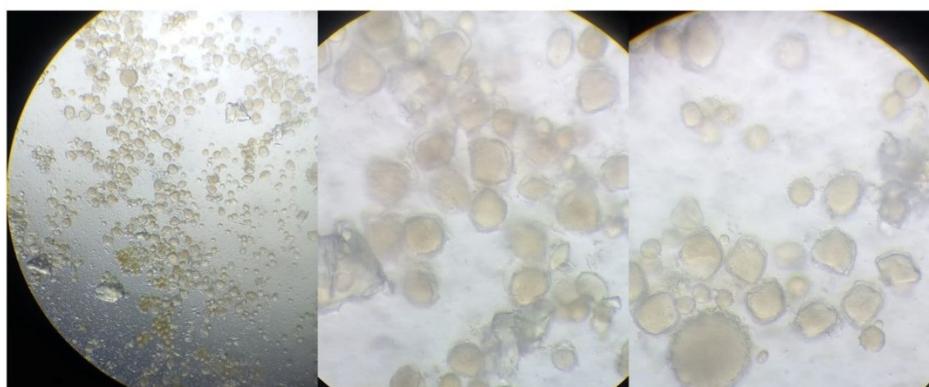


Figura 3 – Lâminas do boldo após 7 dias



**1. Intensidade da Cor:** O corante fresco pode ter uma cor mais vibrante, mas o corante envelhecido parece ter uma capacidade de fixação melhor;

**2. Tempo de Exposição:** O tempo de contato com o pólen pode ter permitido uma melhor absorção dos pigmentos;

**3. Mudança Química:** A maceração e o armazenamento podem ter alterado a composição química do corante, aumentando sua eficácia;

**4. Interações Morfológicas:** Diferentes tipos de pólen podem reagir de maneira diferente aos corantes, o que pode explicar a variação na pigmentação.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que essa prática de corantes naturais utilizando grãos de pólen tem um custo acessível. O processo é simples e pode ser realizado em casa ou em sala de aula, permitindo que alunos e educadores se envolvam na aprendizagem, além deles aprenderem sobre reações químicas, absorção de pigmentação e morfologia de diferentes materiais polínicos. Essa atividade oferece uma oportunidade para discutir a importância dos corantes

naturais em comparação com os artificiais, promovendo uma consciência ambiental e de saúde. A utilização do açafrão e boldo como corantes naturais em conjunto com o pólen é uma atividade acessível e educativa. Promovendo a criatividade e consciência ambiental entre os alunos.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, Márcio Danilo Oliveira; SANTOS, Vinícius Wilson Silva; SILVA, Evelyn Carolaine Veloso. Característica de qualidade e utilização do pólen: uma revisão de literatura. *REVISTA ARACÊ*, v. 2, pág. 3917-3941, 2024. Acesso em: 15 de abril de 2025
- PEIXOTO, Abraão Brito; BORGE, Raquel de Souza; SOARES, Lech Walesa Oliveira; VENTURA, Rafael Augusto. A química dos corantes: um estudo sobre a obtenção de um corante natural proveniente do bagaço do caju. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 9, n. 9, e225996859, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6859> . Acesso em: 15 de abril de 2025;
- RUIZ, Ana Lúcia TG; TAFFARELLO, Denise; SOUZA, Vanessa HS; CARVALHO, João E. Farmacologia e Toxicologia de *Peumus boldus* e *Baccharis genistelloides*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 2, pág. 295-300, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2008000200010> . Acesso em: 15 de abril de 2025;
- LOPES, Maria Teresa do Rêgo *et al.* *Pólen apícola: características da produção e da qualidade*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2022. (Documentos / Embrapa Meio-Norte, n. 283). Disponível em: <https://www.embrapa.br/meio-norte>. Acesso em: 15 de abril de 2025.

# CAPÍTULO XXVI

## ESTUDO DO POTENCIAL DO EXTRATO DE FOLHAS DE EUCALIPTO PARA O TINGIMENTO NATURAL E PROTEÇÃO UV EM TECIDOS DE SEDA

### STUDY OF THE POTENTIAL OF EUCALYPTUS LEAF EXTRACT FOR NATURAL DYEING AND UV PROTECTION IN SILK FABRICS

DOI: 10.51859/ampla.mac5295-26

Márcia Gomes da Silva<sup>1</sup>

Nívea Taís Vila<sup>2</sup>

Alexandre Jose Sousa Ferreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

<sup>2</sup> Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Têxtil. Universidade Estadual de Maringá – UEM

<sup>3</sup> Professor Adjunto do Campus Jandaia do Sul. Universidade Federal do Paraná – UFPR

#### RESUMO

Alguns corantes naturais, além de conferirem cor aos materiais têxteis, são capazes de conferir-lhes propriedades funcionais, como a proteção UV. De fato, vários estudos relataram o uso de extratos naturais para tingir e, ao mesmo tempo, conferir proteção UV a fibras naturais como algodão (Bonet-Aracil *et al.*, 2016), seda e lã (Chengaiyah *et al.*, 2010). Esta pesquisa teve como objetivo avaliar as propriedades de proteção ultravioleta de tecidos de seda tingidos com extrato de folha de eucalipto. O extrato aquoso foi caracterizado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas (UHPLC/QTOF-MS/MS), revelando a presença de diversos compostos da classe dos flavonoides. O tingimento dos tecidos foi realizado em processo por esgotamento, em diferentes concentrações de extrato. As amostras tingidas foram submetidas à medição do Fator de Proteção Ultravioleta (UPF), que apresentou dependência linear com o aumento da concentração do extrato. As propriedades de solidez à lavagem e fricção também foram avaliadas.

**Palavras-chave:** Eucalipto. Tingimento Natural. Seda. Proteção UV.

#### ABSTRACT

Some natural dyes not only impart color to textile materials but can also provide functional properties, such as UV protection. Indeed, several studies have reported the use of natural extracts to dye and simultaneously confer UV protection to natural fibers like cotton (Bonet-Aracil *et al.*, 2016), silk, and wool (Chengaiyah *et al.*, 2010). This study aimed to evaluate the ultraviolet protection properties of silk fabrics dyed with eucalyptus leaf extract. The aqueous extract was characterized using Ultra-High Performance Liquid Chromatography coupled with Mass Spectrometry (UHPLC/QTOF-MS/MS), revealing the presence of various flavonoid compounds. The fabrics were dyed using an exhaustion process at different extract concentrations. The dyed samples were subjected to Ultraviolet Protection Factor (UPF) measurements, which showed a linear dependence with increasing extract concentration. Wash and rubbing fastness properties were also evaluated.

**Keywords:** Eucalyptus. Natural dyeing. Silk. UV protection.



## 1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil, considerada um dos pilares do comércio global, tem sido alvo de crescente atenção devido aos impactos negativos causados pelo uso extensivo de corantes sintéticos, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana (Ramadhany; Witono; Putri, 2020). Embora esses corantes ofereçam uma ampla variedade de tonalidades e sejam economicamente vantajosos, muitos contêm substâncias químicas tóxicas, como compostos de cromo, nitratos e metais pesados, incluindo arsênio, chumbo e mercúrio (Palaskar; Kale; Deshmukh, 2021). Estima-se que aproximadamente 1.000.000 de toneladas de corantes sintéticos sejam utilizadas anualmente, resultando na liberação de grandes volumes de resíduos e corantes não fixados, contribuindo significativamente para a poluição ambiental (Chungkrang, 2020). Os efluentes gerados durante os processos de tingimento frequentemente contaminam corpos d'água, colocando em risco a biodiversidade aquática e a saúde humana (Khattab; Abdelrahman; Rehan, 2020). Devido à sua baixa biodegradabilidade, essas substâncias permanecem no ambiente por longos períodos, acumulando-se em sedimentos e organismos vivos, o que provoca efeitos ecológicos de longo prazo (Zucca *et al.*, 2012). A exposição humana a esses compostos está associada a diversos problemas de saúde, como alergias, irritações cutâneas, distúrbios respiratórios e até câncer (Kumar *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, aliado ao fortalecimento da consciência ambiental e às exigências regulatórias mais rigorosas, o interesse por corantes naturais tem se intensificado, sendo vistos como alternativas mais sustentáveis. Derivados de fontes renováveis como plantas, insetos e minerais, os corantes naturais oferecem uma solução ecologicamente responsável para a coloração têxtil. Além disso, muitos desses corantes apresentam propriedades bioativas, como atividade antioxidante e antibacteriana, conferindo funcionalidades adicionais aos tecidos (Lykidou *et al.*, 2021).

A curcumina, por exemplo, é um corante natural amarelo brilhante com potencial de aplicação segura em roupas infantis (Lykidou *et al.*, 2021). O uso de corantes naturais está alinhado aos princípios da economia circular, promovendo o uso eficiente de recursos e a redução da geração de resíduos. A extração de pigmentos naturais a partir de resíduos alimentares, madeiras e subprodutos agrícolas não apenas diminui os custos, como também permite a funcionalização dos tecidos com propriedades como proteção contra radiação UV e

atividade antimicrobiana (Silva *et al.*, 2018). Entre os principais benefícios ambientais associados aos corantes naturais destacam-se a menor demanda por água e energia, bem como a redução significativa no uso de substâncias químicas agressivas.

A seda, por sua vez, é amplamente valorizada por seu brilho natural, leveza e conforto ao toque, sendo considerada um dos tecidos mais nobres utilizados na moda e em artigos de luxo. Com origem nos filamentos proteicos produzidos por bichos-da-seda, a seda possui uma estrutura composta majoritariamente por fibroína, o que lhe confere biocompatibilidade e suavidade em contato com a pele (Pizzicato *et al.*, 2023).

No entanto, a delicada composição proteica da seda a torna vulnerável a processos químicos agressivos, frequentemente empregados em métodos convencionais de tingimento. O uso de corantes sintéticos, associado a tratamentos com agentes alcalinos, ácidos ou oxidantes, pode comprometer a integridade da fibra, resultando em perda de brilho, maciez e resistência, além de prejudicar sua aparência final. Essa sensibilidade exige o desenvolvimento de métodos de tingimento mais brandos, que garantam não apenas a eficiência da coloração, mas também a preservação das propriedades naturais do tecido. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de explorar rotas alternativas e mais sustentáveis para o tingimento da seda, especialmente por meio do uso de corantes naturais.

As folhas de eucalipto, amplamente encontradas em diversas regiões, representam uma fonte promissora de corantes naturais. A extração de pigmentos a partir dessas folhas pode oferecer uma solução economicamente viável e ambientalmente segura para a coloração de tecidos ((Ramadhany; Witono; Putri, 2020), sendo compatível com os princípios da sustentabilidade e da valorização de recursos renováveis.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo investigar o tingimento de tecidos de seda com extrato natural de folhas de eucalipto. Para isso, foi realizada a caracterização química do extrato, além de ensaios de solidez à lavagem e análise do Fator de Proteção Ultravioleta (UPF), com o intuito de avaliar o desempenho funcional dos tecidos tingidos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. MATERIAIS E REAGENTES

Foram utilizadas folhas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) cultivadas no Brasil. O tecido plano 100% seda (SK) com gramatura de 52 g.m<sup>-2</sup>, foi doado pela empresa Vale da Seda. O

detergente nãoionico Nionlab Celm foi utilizado para a lavagem dos tecidos após o tingimento e para os ensaios de solidez da cor à lavagem.

## 2.2. EXTRAÇÃO DO CORANTE NATURAL

O extrato de folhas de eucalipto foi obtido em meio aquoso sem a adição de produtos químicos. As folhas previamente secas em estufa durante 24 horas foram trituradas, embaladas a vácuo e armazenadas em freezer a temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os extratos foram obtidos nas concentrações de 10, 20 e  $40\text{ gL}^{-1}$ . A extração foi realizada em banho termostaticado 500/3D Nova Etica durante 60 minutos a temperatura de  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . As soluções foram filtradas para utilização no processo de tingimento.

## 2.3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO EXTRATO POR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS (UHPLC/QTOF-MS/MS)

Os extratos foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (Shimadzu, Nexera X2, Japão) acoplada a espectrometria de massas de alta resolução (Impact II, Bruker Daltonics Corporation, Alemanha) equipada com uma fonte de ionização por eletronebulização. A voltagem do capilar foi operada em modo de ionização negativa, fixada em 3000 V, com um potencial de deslocamento da placa final de  $-500\text{ V}$ . Os parâmetros do gás de secagem foram ajustados para  $8\text{ L min}^{-1}$  a  $180^{\circ}\text{C}$ , com pressão do gás de nebulização de 4 bar. Os dados foram coletados na faixa de  $m/z$  50-1300, com uma taxa de aquisição de 5 espectros por segundo, e os íons de interesse foram selecionados por fragmentação automática de varredura MS/MS. A separação cromatográfica foi realizada com um gradiente dos solventes A ( $\text{H}_2\text{O} + 0,1\%$  de ácido fórmico v/v) e B (acetonitrila + 0,1% de ácido fórmico v/v), utilizando uma coluna C18 (Waters, ACQUITY UPLC®). O sistema de gradiente foi estruturado da seguinte forma: 5% de B (0-2 min), 50% de B (2-10 min), 95% de B (10-18 min), mantido em 95% de B (18-20 min), 5% de B (20-22 min) e mantido em 5% de B (22-25 min).

A identificação dos compostos foi realizada com base na similaridade dos espectros de fragmentação de alta resolução e informações de massa exata, comparados com espectros da literatura e bancos de dados de acesso livre, como Massbank e Human Metabolome Database.

## 2.4. PROCESSO DE TINGIMENTO

Amostras de tecido foram tingidas nas concentrações de 10, 20 e 40 g/L de extrato corante em uma máquina Kimak AT1-SW empregando uma relação de banho de 1:100 durante 60 minutos a temperatura de 90 °C. Após o tingimento as amostras foram submetidas a uma lavagem utilizando 2 gL<sup>-1</sup> de detergente nãoiônico, temperatura de 60 °C durante 10 minutos. Finalmente as amostras foram enxaguadas em água fria e secas a temperatura ambiente.

As amostras tingidas foram avaliadas de acordo com a força colorística (K/S), obtida a partir dos dados de refletância espectral, adquiridos em um espectrofotômetro Datacolor 550, utilizando a equação de Kubelka-Munk (Eq.1).

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (1)$$

Onde K é o coeficiente de absorvância, S é o coeficiente de dispersão e R é a taxa de refletância medida na absorvância máxima do corante usando um espectrofotômetro de refletância Datacolor 550.

A intensidade da cor (I) das amostras também foi determinada, utilizando a equação (2), conforme descrito por Štěpánková et al. (2011):

$$I = \sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} \frac{K}{S}(\lambda) * \Delta\lambda \quad \Delta\lambda = 10 \quad (2)$$

Onde: K = coeficiente de absorção; S = coeficiente de dispersão;  $\lambda$  = comprimento de onda.

## 2.5. FATOR DE PROTEÇÃO UV DAS AMOSTRAS TINGIDAS

O Fator de Proteção UV (UPF) das amostras tingidas foi medido usando um espectrofotômetro SDL-M350, de acordo com o procedimento padrão AS/NZS 4399:1996.

## 2.6. SOLIDEZ À LAVAGEM

A solidez à lavagem foi realizada de acordo com a norma ISO 105-C06: 2010 (ciclo A1S), substituindo o detergente padrão pelo detergente nãoionico, conforme recomendado nos trabalhos de (Jothi, 2008). A avaliação da alteração e transferência de cor das amostras foi realizada no espectrofotômetro de reflexão Datacolor 550.

## 2.7. SOLIDEZ À FRICÇÃO

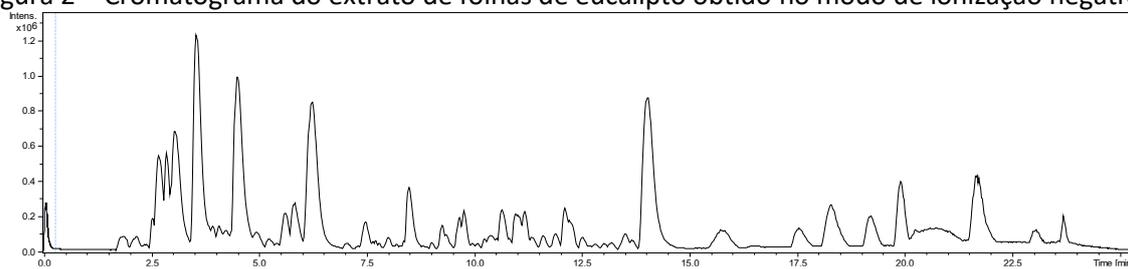
A solidez à fricção foi realizada de acordo com os procedimentos descritos na norma ISO 105-X12:2016, utilizando um Crockmeter. Cada amostra foi friccionada contra tecido de algodão por dez ciclos, no estado seco e úmido. Os resultados foram avaliados em cabine de luz apropriada, por avaliação visual em escala cinza.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO EXTRATO POR UHPLC/QTOF-MS/MS

Os espectros de massa do extrato de folhas de eucalipto apresentaram correspondência espectral com dezenove íons característicos de compostos fenólicos. Suas identidades foram confirmadas por meio da informação de massa exata dos compostos, análise dos fragmentos iônicos das moléculas, sendo os dados comparáveis aos fornecidos na literatura. A Figura 1 mostra o cromatograma do íon do pico base do extrato de folhas de eucalipto obtido no modo de ionização negativo.

Figura 2 – Cromatograma do extrato de folhas de eucalipto obtido no modo de ionização negativo.



Uma lista dos compostos identificados no extrato de eucalipto por UHPLC/QTOF-MS/MS, tempo de retenção, massa  $[M-H]^-$ , massa experimental  $[M-H]^-$ , perfil de fragmentação iônica e a literatura consultada estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição qualitativa do extrato de folhas de eucalipto e correspondente perfil de fragmentação – Identificação feita por comparação com informação disponível na literatura

N°	T <sub>R</sub> (min)	Nome do composto	Fórmula molecular	m/z			Erro (ppm)
				Massa teórica	Massa experimental	Íons fragmentos	
1	2,97	Ácido quínico	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	191,0555	191,0552	127,0391; 111,0449; 93,0336; 85,0285	1,9
2	5,58	Bis(hexa-hidroxi-difenil)-glicose	C <sub>34</sub> H <sub>24</sub> O <sub>22</sub>	783,0681	783,07	481,0622; 300,9990; 275,0197; 249,0401	2,43
3	5,82	Galloil-hexa-hidroxi-difenil-glicose	C <sub>27</sub> H <sub>22</sub> O <sub>18</sub>	633,0728	633,074	481,0608; 300,9989; 275,0196; 249,0402	-1,91
4	6,13	Ácido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	169,0137	169,0145	125,0247	-4,74
5	7,48	Galloil-hexa-hidroxi-difenil-glicose	C <sub>27</sub> H <sub>22</sub> O <sub>18</sub>	633,0728	633,0732	481,0618; 300,9983; 275,0194; 249,0399	-0,64
6	8,2	Galloil-hexa-hidroxi-difenil-glicose	C <sub>27</sub> H <sub>22</sub> O <sub>18</sub>	633,0728	633,0724	481,0620; 300,9987; 275,0191; 249,0411	0,61
7	8,28	Bis(hexa-hidroxi-difenil)-glicose	C <sub>34</sub> H <sub>24</sub> O <sub>22</sub>	783,068	783,0681	481,0639; 300,9991; 275,0199	-0,003
8	8,51	Bis(hexa-hidroxi-difenil)-glicose	C <sub>34</sub> H <sub>24</sub> O <sub>22</sub>	783,068	783,0739	481,0618; 300,9991; 275,0201	-7,41
9	8,62	Ácido protocatecuico-hexosídeo	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>9</sub>	315,0716	315,0729	153,0181; 152,0115; 109,0286; 108,0214	-4,1
10	8,66	Ácido 2,3-di-hidroxibenzóico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	153,0188	153,0193	123,0444; 109,0293; 91,0191	-3,37
11	9,3	Epicatequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	289,0712	289,072	245,0832; 221,0841; 203,0748; 165,0201; 151,0397; 137,0249; 123,0460; 109,0284	-2,72
12	9,36	Ácido clorogênico	C <sub>6</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	353,0873	353,0881	191,0567	-2,38
13	10,16	Vitexina	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	431,0978	431,0986	341,0662; 311,0568; 283,0624	-1,8
14	10,3	Ácido elágico	C <sub>14</sub> H <sub>6</sub> O <sub>8</sub>	300,9984	300,9991	283,9949; 257,0108; 245,0086; 229,0169; 201,0206; 185,0252; 173,0233; 157,0356	-2,18
15	10,31	Quercetina-hexosídeo	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	463,0877	463,0876	300,0280; 255,0288; 191,0562; 149,0459; 89,0249	0,11
16	10,59	Quercetina 3-O-glicuronídeo	C <sub>21</sub> H <sub>18</sub> O <sub>13</sub>	477,0669	477,0675	301,0359; 273,0410; 178,9985; 151,0037	-1,22
17	10,77	Kaempferol 3-O-glicosídeo	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	447,0927	447,0927	284,0335; 255,0296; 227,0357	0,08
18	10,9	Kaempferol-3-glicuronídeo	C <sub>21</sub> H <sub>18</sub> O <sub>12</sub>	461,072	461,074	285,0412; 257,0459; 229,0502; 175,0238; 113,0247	-4,33
19	12,71	Quercetina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	301,0348	301,035	273,0393; 229,0120; 178,9972; 151,0030; 121,0288; 107,0129	-0,57

O composto 1, com m/z 191,055563, foi sugerido como sendo ácido quínico, de acordo com o perfil de fragmentação encontrado em bancos de dados e na literatura, apresentando fragmentos de m/z 127, 111, 93 e 85 (MassBank K0001746). Ele apresenta um tempo de retenção de 2,97 minutos.

O íon em m/z 783,068097 [M-H]<sup>-</sup> foi detectado nos tempos 5,58, 8,28 e 8,51 minutos (compostos 2, 7 e 8, respectivamente), acredita-se que correspondam a isômeros do composto bis(hexaidroxidifenil)-glicose. Esses isômeros apresentaram perfis de fragmentação

semelhantes, com íons fragmentados em  $m/z$  481, decorrentes de  $[M-H-302]^-$  (perda de hexaidroxidifenil), e  $m/z$  301  $[M-H-482]^-$  (perda de hexaidroxidifenil-glicose) (Boulekbache-Makhlouf *et al.*, 2013).

O íon em  $m/z$  633,072789  $[M-H]^-$  foi detectado nos tempos 5,82, 7,48 e 8,20 minutos (compostos 3, 5 e 6, respectivamente), os quais se acredita corresponderem a isômeros do composto galoil-hexaidroxidifenil-glicose. Esses isômeros apresentaram perfis de fragmentação semelhantes em  $m/z$  481, decorrentes de  $[M-H-152]^-$  (perda de galoil), e  $m/z$  301, originado da perda de galoilglicose  $[M-H-332]^-$  (Boulekbache-Makhlouf *et al.*, 2013).

O composto 4, que apresentou íon precursor em  $m/z$  169,0145  $[M-H]^-$  e íon fragmentado em  $m/z$  125, foi identificado como ácido gálico, por comparação com seu perfil de fragmentação descrito na literatura (Santos *et al.*, 2011).

O íon em  $m/z$  315,0729  $[M-H]^-$ , correspondente ao composto 9, foi caracterizado como ácido protocatecuico-hexosídeo no tempo de retenção de 8,62 minutos. O íon fragmentado em  $m/z$  153 correspondeu à perda de uma unidade de hexose (glicose)  $[M-H-162]^-$ , decorrente da fragmentação da ligação glicosídica (Abu-Reidah *et al.*, 2015).

O composto 10, que apresentou íon precursor em  $m/z$  153,0193  $[M-H]^-$  e íons fragmentados em  $m/z$  153, 123, 109 e 91, foi identificado como ácido 2,3-di-hidroxibenzoico, por comparação com bancos de dados públicos (FooDB FDB012200).

O composto 11, com  $m/z$  289,0720  $[M-H]^-$ , foi sugerido como sendo epicatequina, de acordo com o perfil de fragmentação encontrado em bancos de dados e na literatura, apresentando fragmentos em  $m/z$  245, 221, 203, 165, 151, 137, 123 e 109 (MassBank PR100688). Este apresenta um tempo de retenção de 9,30 minutos. O composto 12, com  $m/z$  353,0881  $[M-H]^-$ , apresentou um íon fragmentado intenso em  $m/z$  191  $[M-H-162]^-$ , decorrente da perda de  $[M-H-C_6H_{10}O_5]^-$ , sendo identificado como ácido clorogênico. Este composto foi encontrado em extratos de outras espécies de eucalipto (Amakura *et al.*, 2009).

O composto 13, que apresentou íon precursor em  $m/z$  431,0986  $[M-H]^-$  e íons fragmentados em  $m/z$  341, 311 e 283, foi identificado como vitexina, por comparação com bancos de dados públicos. Este apresenta um tempo de retenção de 10,16 minutos (MassBank PR100820). Composto 14 exibiu pico de íon precursor com  $m/z$  301  $[M-H]^-$  e íons fragmentados em  $m/z$  284, 257, 245, 229, 201, 185, 173 e 157. Esses íons são característicos de ácido elágico (Kumar; Singh; Kumar, 2017; Santos *et al.*, 2011). Composto 15, o íon em  $m/z$

463 [M-H]<sup>-</sup> com fragmentos em m/z 300, 255, 191, 149 e 89, correspondeu a quercetina monoglicosilada (quercetina-hexosídeo) (Abu-Reidah *et al.*, 2015).

Os espectros de MS/MS do composto 16, derivado do íon precursor em m/z 477 [M-H]<sup>-</sup>, apresentaram íons fragmentados em m/z 301, 273, 179 e 151, atribuídos à quercetina 3-O-glucuronídeo. O fragmento mais intenso (m/z 301) corresponde à quercetina [M-H-176]<sup>-</sup>, resultante da ruptura da ligação glicosídica e perda da unidade de ácido glucurônico (MassBank MSJ00037).

O composto 17, com m/z 447,0927 [M-H]<sup>-</sup>, foi sugerido como sendo kaempferol 3-O-glucosídeo, de acordo com o perfil de fragmentação encontrado em bancos de dados e na literatura, apresentando fragmentos em m/z 284, 255 e 227 (MassBank PR100662). Este apresenta um tempo de retenção de 10,77 minutos. Composto 18, kaempferol 3-glucuronídeo, m/z 461 [M-H]<sup>-</sup>, foi identificado pela comparação do seu espectro de fragmentação com dados da literatura. O íon fragmentado mais intenso em m/z 285 foi identificado como kaempferol, decorrente da perda de um fragmento C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub> [M-H-176]<sup>-</sup>, correspondente à perda da unidade de ácido glucurônico pela ruptura da ligação glicosídica (Zhu *et al.*, 2015).

O metabólito quercetina (composto 19), um dos principais flavonoides presentes nas folhas de eucalipto, responsável pela coloração conferida aos materiais têxteis (Mongkholrattanasit *et al.*, 2011), foi observado no extrato de eucalipto referente ao íon m/z 301,0350, que apresentou íons fragmentados em m/z 273, 229, 179, 151, 121 e 107, característicos deste composto (Wang *et al.*, 2015).

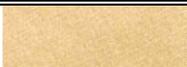
### 3.2. TINGIMENTO

As amostras tingidas com extrato de folhas de eucalipto apresentaram uma coloração marrom-amarelada, conforme apresentado na Tabela 2.

Verificou-se que a concentração inicial do extrato teve grande influência na quantidade de extrato de eucalipto retida no tecido de seda. De fato, a concentração de 40 gL<sup>-1</sup> promoveu valores de intensidade mais elevados do que as concentrações de 10 e 20 gL<sup>-1</sup>. Este comportamento pode ser resultado de um aumento na força motriz do gradiente de concentração com o aumento da concentração inicial de corante. Portanto, pode-se concluir que a concentração inicial do extrato desempenhou um papel importante na capacidade de adsorção do extrato de eucalipto na seda. Resultados semelhantes foram

obtidos nos estudos de (Mongkhorrattanasit; Kryštůfek; Wiener, 2011) também para o tingimento de seda e lã com corante eucalipto.

Tabela 2 - Coordenadas CIELab e Intensidade de cor das amostras de seda tingidas com extrato de folhas de eucalipto em diferentes concentrações iniciais do extrato.

Concentração inicial do extrato	Coordenadas de cor					I	Cor da amostra tingida
	L*	a*	b*	C*	h		
10 gL <sup>-1</sup>	68,05	6,38	22,23	23,07	78,15	131,60	
20 gL <sup>-1</sup>	68,88	6,15	18,14	21,09	74,54	217,46	
40 gL <sup>-1</sup>	73,79	5,75	16,40	17,37	70,69	240,66	

Os parâmetros de cor CIELab também variaram de acordo com a concentração inicial do extrato, sendo que as amostras tingidas com maior concentração de extrato apresentaram-se mais escuras (diminuição da coordenada L\*), mais avermelhadas (aumento da coordenada a\*), mais amareladas (aumento da coordenada b\*), com maior pureza e saturação em relação às amostras tingidas utilizando menor concentração.

### 3.3. SOLIDEZ À LAVAGEM, SOLIDEZ À FRICÇÃO E UPF

Os índices de solidez à lavagem e à fricção foram classificados como bons a muito bons. Além disso, o tingimento com extrato de folhas de eucalipto conferiu excelentes propriedades de proteção UV aos tecidos de seda, conforme apresentado na Tabela 3.

As boas propriedades de solidez dos tecidos tingidos possivelmente decorrem da presença de uma grande quantidade de taninos e flavonóides na composição química do extrato de eucalipto, conforme ficou demonstrado na seção 3.1. Tais compostos possuem boa capacidade para fixar o corante nas fibras, atuando como mordentes (Mongkhorrattanasit *et al.*, 2013).

O Fator de Proteção UV (UPF) da amostra branqueada apresentou índice UPF de 7, o que é classificado como muito baixo de acordo com a norma AS/NZS 4399:2017. Por outro lado, após o tingimento, todas as amostras atingiram valores de UPF superiores a 100, que é considerado excelente, sugerindo que o extrato de folhas de eucalipto promove proteção UV. Observou-se ainda que os índices UPF aumentaram com o aumento da concentração do extrato utilizado no tingimento, sendo o melhor resultado obtido na concentração de 40 gL<sup>-1</sup>.

Resultados semelhantes foram obtidos por Mongkholrattanasit et al. (2011) para o tingimento de tecidos de seda com extrato de folhas de eucalipto.

Tabela 3 - Resultados de solidez à lavagem, solidez à fricção e UPF das amostras de seda tingidas com extrato de folhas de eucalipto em diferentes concentrações iniciais.

Amostra	Solidez à lavagem			Solidez à fricção		UPF
	Alteração	Manchamento		Seco	úmido	
		CO	WO			
SK branqueada	*	*	*	*	*	7
SK 10 gL <sup>-1</sup>	4	4-5	4-5	4-5	4	101
SK 20 gL <sup>-1</sup>	3-4	4	4	4-5	4	201
SK 40 gL <sup>-1</sup>	3-4	4	4	4-5	3-4	217

\* não aplicável

## 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos a partir deste estudo evidenciam o potencial do extrato aquoso de folhas de eucalipto como corante natural, sendo eficaz para o tingimento de tecidos de seda, promovendo não apenas coloração, mas também atribuindo uma funcionalidade adicional ao substrato. A caracterização química do extrato revelou a presença de diversos compostos fenólicos, especialmente flavonoides e taninos, os quais contribuíram significativamente, embasado pela literatura apresentada, para a boa fixação do corante nas fibras, refletida nos elevados índices de solidez à lavagem e à fricção.

Além disso, os tecidos tingidos apresentaram excelente capacidade de proteção contra radiação ultravioleta (UPF > 100), com desempenho crescente conforme o aumento da concentração do extrato aplicado, destacando o uso do eucalipto como alternativa sustentável aos aditivos convencionais de proteção UV. A abordagem utilizada neste trabalho reforça a viabilidade de métodos mais ecológicos e compatíveis com os princípios da economia circular, promovendo o desenvolvimento de têxteis funcionais e com menor impacto ambiental. Assim, este estudo contribui para o avanço na aplicação de recursos naturais renováveis no setor têxtil, abrindo novas possibilidades para produtos com apelo ambiental e funcionalidade diferenciada.

## REFERÊNCIAS

ABU-REIDAH, I. M. *et al.* HPLC-DAD-ESI-MS/MS screening of bioactive components from *Rhus coriaria* L. (Sumac) fruits. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 166, p. 179–191, 2015.

- AMAKURA, Y. *et al.* Marker constituents of the natural antioxidant Eucalyptus leaf extract for the evaluation of food additives. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, [s. l.], v. 73, n. 5, p. 1060–1065, 2009. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19420705>.
- BONET-ARACIL, M. Á. *et al.* UV protection from cotton fabrics dyed with different tea extracts. **Dyes and Pigments**, [s. l.], v. 134, p. 448–452, 2016.
- BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L. *et al.* Qualitative and semi-quantitative analysis of phenolics in Eucalyptus globulus leaves by high-performance liquid chromatography coupled with diode array detection and electrospray ionisation mass spectrometry. **Phytochemical Analysis**, [s. l.], v. 24, n. July, p. 162–170, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22930658>.
- CHENGAIH, B. *et al.* Medicinal importance of natural dyes a review. **International Journal of PharmTech Research**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 144–154, 2010.
- CHUNGKRANG, L. Environmental friendly synthesis of natural dyes and pigments. **International Journal of Chemical Studies**, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 2398–2402, 2020.
- JOTHI, D. Extraction of natural dyes from African marigold flower (*Tagetes erecta*) for textile coloration. **Autex Research Journal**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 49–53, 2008.
- KHATTAB, T. A.; ABDELRAHMAN, M. S.; REHAN, M. Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 3803–3818, 2020.
- KUMAR, R. *et al.* To study natural herbal dyes on cotton fabric to improving the colour fastness and absorbency performance. **Journal of Textile Engineering & Fashion Technology**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 51–56, 2021.
- KUMAR, S.; SINGH, A.; KUMAR, B. Identification and characterization of phenolics and terpenoids from ethanolic extracts of *Phyllanthus* species by HPLC-ESI-QTOF-MS/MS. **Journal of Pharmaceutical Analysis**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 214–222, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpha.2017.01.005>.
- LYKIDOU, S. *et al.* Study on the Dyeing Properties of Curcumin on Natural and Synthetic Fibers and Antioxidant and Antibacterial Activities. **Fibers and Polymers**, [s. l.], v. 22, n. 12, p. 3336–3342, 2021.
- MONGKHOLRATTANASIT, R. *et al.* Dyeing Studies with Eucalyptus , Quercetin , Rutin , and Tannin : A Research on Effect of Ferrous Sulfate Mordant. **Journal of Textiles**, [s. l.], v. 2013, 2013.
- MONGKHOLRATTANASIT, R. *et al.* Properties of wool and cotton fabrics dyed with eucalyptus , tannin and flavonoids. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 90–95, 2011.

- MONGKHOLRATTANASIT, R.; KRYŠTŮFEK, J.; WIENER, J. Dyeing , fastness , and UV protection properties of silk and wool fabrics dyed with eucalyptus leaf extract by the exhaustion process. **Fibres & Textiles in Eastern Europe**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 94–99, 2011.
- PALASKAR, S. S.; KALE, R. D.; DESHMUKH, R. R. Application of natural yellow (curcumin) dye on silk to impart multifunctional finishing and validation of dyeing process using BBD model. **Color Research and Application**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. 1301–1312, 2021.
- PIZZICATO, B. *et al.* Advancements in Sustainable Natural Dyes for Textile Applications: A Review. **Molecules**, [s. l.], v. 28, n. 16, p. 1–22, 2023.
- RAMADHANY, P.; WITONO, J. R.; PUTRI, O. Formulation of Curcumin as Natural Dye on Polyester. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 742, n. 1, 2020.
- SANTOS *et al.* Characterization of phenolic components in polar extracts of Eucalyptus globulus labill. Bark by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 59, n. 17, p. 9386–9393, 2011.
- SILVA, M. G. da *et al.* Cleaner production of antimicrobial and anti-UV cotton materials through dyeing with eucalyptus leaves extract. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 199, p. 807–816, 2018.
- ŠTĚPÁNKOVÁ, M.; WIENER, J.; RUSINOVÁ, K. Decolourization of vat dyes on cotton fabric with infrared laser light. **Cellulose**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 469–478, 2011.
- WANG, M. *et al.* Rapid screening and identification of non-target flavonoid components in invasive weeds by LC/MS-IT-TOF. **Anal. Methods**, [s. l.], v. 7, n. 24, p. 10207–10216, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/C5AY02186C>.
- ZHU, M. *et al.* Phenolic profiling of Duchesnea indica combining macroporous resin chromatography (MRC) with HPLC-ESI-MS/MS and ESI-IT-MS. **Molecules**, [s. l.], v. 20, n. 12, p. 22463–22475, 2015.
- ZUCCA, P. *et al.* Degradation of textile dyes using immobilized lignin peroxidase-like metalloporphines under mild experimental conditions. **Chemistry Central Journal**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 1–8, 2012.



**AMPLLA**  
EDITORA



9 786553 812895