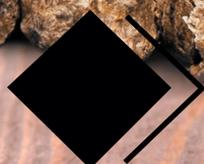


**Clecia Simone Pacheco
Guilherme Fernando Ribeiro
Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Wiaslan Figueiredo Martins
Erival Gonçalves Prata
Carlos Roberto de Lima
Julianno Pizzano Ayoub
(Orgs.)**

BIOMASSA

**RECURSOS, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS
EM PESQUISAS**



editora
científica digital

**Clecia Simone Pacheco
Guilherme Fernando Ribeiro
Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Wiaslan Figueiredo Martins
Erival Gonçalves Prata
Carlos Roberto de Lima
Julianno Pizzano Ayoub
(Orgs.)**

BIOMASSA

**RECURSOS, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS
EM PESQUISAS**

1ª EDIÇÃO

editora
científica digital

2022 - GUARUJÁ - SP



EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA
Guarujá - São Paulo - Brasil
www.editoracientifica.org - contato@editoracientifica.org

Diagramação e arte Equipe editorial	2022 by Editora Científica Digital Copyright© 2022 Editora Científica Digital
Imagens da capa Adobe Stock - licensed by Editora Científica Digital - 2022	Copyright do Texto © 2022 Autores e Autoras Copyright da Edição © 2022 Editora Científica Digital
Revisão Autores e Autoras	Acesso Livre - Open Access

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Editora Científica Digital, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

O conteúdo dos capítulos e seus dados e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e autoras.

É permitido o download e compartilhamento desta obra desde que pela origem da publicação e no formato Acesso Livre (Open Access), com os créditos atribuídos aos autores e autoras, mas sem a possibilidade de alteração de nenhuma forma, catalogação em plataformas de acesso restrito e utilização para fins comerciais.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B615

Biomassa: recursos, aplicações e tecnologias em pesquisas / Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco (Organizadora), Guilherme Fernando Ribeiro (Organizador), Marcos Vinicius Winckler Caldeira (Organizador). – Guarujá-SP: Científica Digital, 2022.

Outros organizadores:

Wiaslan Figueiredo Martins; Erival Gonçalves Prata; Carlos Roberto de Lima; Julianno Pizzano Ayoub.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5360-XXX-X

DOI 10.37885/978-65-5360-XXX-X

1. Biocombustíveis. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Meio ambiente. I. Pacheco, Clecia Simone Gonçalves Rosa (Organizadora). II. Ribeiro, Guilherme Fernando (Organizador). III. Caldeira, Marcos Vinicius Winckler (Organizador). IV. Título.

CDD 662.88

Índice para catálogo sistemático: I. Biocombustíveis : Energia - Fontes alternativas

Elaborado por Janaina Ramos – CRB-8/9166

E-BOOK
ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2022

Direção Editorial

Reinaldo Cardoso

João Batista Quintela

Assistentes Editoriais

Erick Braga Freire

Bianca Moreira

Sandra Cardoso

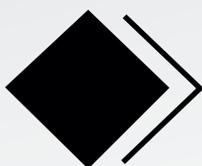
Bibliotecários

Maurício Amormino Júnior - CRB-6/2422

Janaina Ramos - CRB-8/9166

Jurídico

Dr. Alandelon Cardoso Lima - OAB/SP-307852



editora

científica digital

CONSELHO EDITORIAL

Mestres, Mestras, Doutores e Doutoradas

Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Universidade Estadual de Campinas

Prof^a. Ma. Eloisa Rosotti Navarro
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
FSG Centro Universitário

Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Universidade Federal do Pampa

Prof. Esp. Domingos Bombo Damião
Universidade Agostinho Neto - Angola

Prof. Me. Reinaldo Eduardo da Silva Sales
Instituto Federal do Pará

Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Dra. Dalizia Amaral Cruz
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Ma. Susana Jorge Ferreira
Universidade de Evora, Portugal

Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Me. Erival Gonçalves Prata
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Gevair Campos
Faculdade CNEC Unai

Prof. Me. Flávio Aparecido De Almeida
Faculdade Unida de Vitória

Prof. Me. Mauro Vinicius Dutra Girão
Centro Universitário Inta

Prof. Esp. Clóvis Luciano Giacomiet
Universidade Federal do Amapá

Prof^a. Dra. Giovanna Faria de Moraes
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Universidade Federal do Pará

Prof. Esp. Dennis Soares Leite
Universidade de São Paulo

Prof^a. Dra. Silvani Verruck
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Me. Osvaldo Contador Junior
Faculdade de Tecnologia de Jahu

Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Universidade Paulista

Prof^a. Dra. Silvana Lima Vieira
Universidade do Estado da Bahia

Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a. Ma. Graciete Barros Silva
Universidade Estadual de Roraima

Prof. Dr. Carlos Roberto de Lima
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Wesley Viana Evangelista
Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Cristiano Marins
Universidade Federal Fluminense

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória

Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Faculdades Integradas de Taquara

Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Universidade de Franca

Prof^a. Ma. Juliana Campos Pinheiro
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Raimundo Nonato Ferreira Do Nascimento
Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Instituto Evandro Chagas

Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Centro Universitário UNIFAAT

Prof^a. Dra. Samylla Maira Costa Siqueira
Universidade Federal da Bahia

Prof^a. Ma. Gloria Maria de Franca
Centro Universitário CESMAC

Prof^a. Dra. Carla da Silva Sousa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Prof. Me. Denny Ramon de Melo Fernandes Almeida
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Me. Mário Celso Neves De Andrade
Universidade de São Paulo

Prof. Me. Juliano Pizzano Ayoub
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof. Dr. Ricardo Pereira Sepini
Universidade Federal de São João Del-Rei

Prof^a. Dra. Maria do Carmo de Sousa
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Me. Flávio Campos de Moraes
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Jonatas Brito de Alencar Neto
Universidade Federal do Ceará

Prof. Me. Reginaldo da Silva Sales
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Moisés de Souza Mendonça
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Patrício Francisco da Silva
Universidade de Taubaté

Prof^a. Esp. Bianca Anacleto Araújo de Sousa
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Universidade Metodista de São Paulo

Prof^a. Ma. Bianca Cerqueira Martins
Universidade Federal do Acre

Prof. Dr. Vitor Afonso Hoeflich
Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Francisco de Sousa Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Prof^a. Dra. Sayonara Cotrim Sabioni
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Prof^a. Dra. Thais Ranielle Souza de Oliveira
Centro Universitário Euroamericano

Prof^a. Dra. Rosemary Laís Galati
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof^a. Dra. Maria Fernanda Soares Queiroz
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. Dioniso de Souza Sampaio
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a. Ma. Danielly de Sousa Nóbrega
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre

Prof. Me. Mauro Luiz Costa Campello
Universidade Paulista

Prof^a. Ma. Livia Fernandes dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre

Prof^a. Dra. Sonia Aparecida Cabral
Secretaria da Educação do Estado de São Paulo

Prof^a. Dra. Camila de Moura Vogt
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. José Martins Juliano Eustaquio
Universidade de Uberaba

Prof. Me. Walmir Fernandes Pereira
Miami University of Science and Technology

Prof^a. Dra. Liege Coutinho Goulart Dornellas
Universidade Presidente Antônio Carlos

Prof. Me. Ticiano Azevedo Bastos
Secretaria de Estado da Educação de MG

Prof. Dr. Jónata Ferreira De Moura
Universidade Federal do Maranhão

Prof^a. Ma. Daniela Remião de Macedo
Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa

Prof. Dr. Francisco Carlos Alberto Fonteles Holanda
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Dra. Bruna Almeida da Silva
Universidade do Estado do Pará

Prof^a. Ma. Adriana Leite de Andrade
Universidade Católica de Petrópolis

Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Instituto Federal do Sertão Pernambucano,

Prof. Dr. Claudimir da Silva Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas

Prof. Dr. Fabrício dos Santos Ritá
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil

Prof. Me. Ronei Aparecido Barbosa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas

Prof. Dr. Julio Onésio Ferreira Melo
Universidade Federal de São João Del Rei

Prof. Dr. Juliano José Corbi
Universidade de São Paulo

Prof^a. Dra. Alessandra de Souza Martins
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho
Universidade Federal do Cariri

Prof. Dr. Thadeu Borges Souza Santos
Universidade do Estado da Bahia

Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Rodrigues Queluz
Universidade São Francisco

Prof^a. Dra. Maria Luzete Costa Cavalcante
Universidade Federal do Ceará

Prof^a. Dra. Luciane Martins de Oliveira Matos
Faculdade do Ensino Superior de Linhares

Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof^a. Esp. Livia Silveira Duarte Aquino
Universidade Federal do Cariri

Prof^a. Dra. Irlane Maia de Oliveira
Universidade Federal do Amazonas

Prof^a. Dra. Xaene Maria Fernandes Mendonça
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Ma. Thais de Oliveira Carvalho Granado Santos
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Fábio Ferreira de Carvalho Junior
Fundação Getúlio Vargas

Prof. Me. Anderson Nunes Lopes
Universidade Luterana do Brasil

Profª. Dra. Iara Margolis Ribeiro
Universidade do Minho

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva
Universidade Federal do Ceará

Profª. Dra. Keila de Souza Silva
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Francisco das Chagas Alves do Nascimento
Universidade Federal do Pará

Profª. Dra. Réia Sílvia Lemos da Costa e Silva Gomes
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Evaldo Martins da Silva
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. António Bernardo Mendes de Seça da Providência Santarém
Universidade do Minho, Portugal

Profª. Dra. Miriam Aparecida Rosa
Instituto Federal do Sul de Minas

Prof. Dr. Biano Alves de Melo Neto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Profª. Dra. Priscyla Lima de Andrade
Centro Universitário UnifBV

Prof. Dr. Gabriel Jesus Alves de Melo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Prof. Esp. Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira
Universidade Estadual do Centro Oeste

Prof. Dr. Andre Muniz Afonso
Universidade Federal do Paraná

Profª. Dr. Laís Conceição Tavares
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Rayme Tiago Rodrigues Costa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme
Universidade Federal do Tocantins

Prof. Me. Valdemir Pereira de Sousa
Universidade Federal do Espírito Santo

Profª. Dra. Sheylla Susan Moreira da Silva de Almeida
Universidade Federal do Amapá

Prof. Dr. Arinaldo Pereira Silva
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Profª. Dra. Ana Maria Aguiar Frias
Universidade de Evora, Portugal

Profª. Dra. Deise Keller Cavalcante
Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro

Profª. Esp. Larissa Carvalho de Sousa
Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal

Esp. Daniel dos Reis Pedrosa
Instituto Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Waslan Figueiredo Martins
Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria
Universidade Federal do Pará

Profª. Dra. Tamara Rocha dos Santos
Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Gustavo Soares de Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

Profª. Dra. Adriana Cristina Bordignon
Universidade Federal do Maranhão

Profª. Dra. Norma Suely Evangelista-Barreto
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Me. Larry Oscar Chaiñi Paucar
Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Peru

Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Daniel Augusto da Silva
Fundação Educacional do Município de Assis

Profª. Dra. Aleteia Hummes Thaines
Faculdades Integradas de Taquara

Profª. Dra. Elisangela Lima Andrade
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Reinaldo Pacheco Santos
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Profª. Ma. Cláudia Catarina Agostinho
Hospital Lusíadas Lisboa, Portugal

Profª. Dra. Carla Cristina Bauermann Brasil
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Humberto Costa
Universidade Federal do Paraná

Profª. Ma. Ana Paula Felipe Ferreira da Silva
Universidade Potiguar

Prof. Dr. Ernane José Xavier Costa
Universidade de São Paulo

Profª. Ma. Fabricia Zanelato Bertolde
Universidade Estadual de Santa Cruz

Prof. Me. Eliomar Viana Amorim
Universidade Estadual de Santa Cruz

Profª. Esp. Nássarah Jabur Lot Rodrigues
Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. José Aderval Aragão
Universidade Federal de Sergipe

Profª. Ma. Caroline Muñoz Cevada Jeronimo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Profª. Dra. Aline Silva De Aguiar
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Renato Moreira Nunes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Me. Júlio Nonato Silva Nascimento
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª. Dra. Cybelle Pereira de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba

Profª. Ma. Cristianne Kalinne Santos Medeiros
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Profª. Dra. Fernanda Rezende
Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Estudo em Educação Ambiental

Profª. Dra. Clara Mockdece Neves
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª. Ma. Danielle Galdino de Souza
Universidade de Brasília

Prof. Me. Thyago José Arruda Pacheco
Universidade de Brasília

Profª. Dra. Flora Magdaline Benitez Romero
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Profª. Dra. Carline Santos Borges
Governo do Estado do Espírito Santo, Secretaria de Estado de Direitos Humanos.

Profª. Dra. Rosana Barbosa Castro
Universidade Federal de Amazonas

Prof. Dr. Wilson José Oliveira de Souza
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Eduardo Nardini Gomes
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. José de Souza Rodrigues
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Universidade do Porto

Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prefeitura Municipal de Santos

Prof. Me. Guilherme Fernando Ribeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª. Dra. Jaisa Klaus
Associação Vitoriana de Ensino Superior

Prof. Dr. Jeferson Falcão do Amaral
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Profª. Ma. Ana Carla Mendes Coelho
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Prof. Dr. Octávio Barbosa Neto
Universidade Federal do Ceará

Profª. Dra. Carolina de Moraes Da Trindade
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Ronison Oliveira da Silva
Instituto Federal de Amazonas

Prof. Dr. Alex Guimarães Sanches
Universidade Estadual Paulista

Profa. Esp. Vanderlene Pinto Brandão
Faculdade de Ciências da Saúde de Unai

Profa. Ma. Maria Das Neves Martins
Faculdade de Ciências da Saúde de Unai

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Universidade de Pernambuco

Prof. Dr. André Luis Assunção de Farias
Universidade Federal do Pará

Profª. Dra. Danielle Mariam Araujo Santos
Universidade do Estado do Amazonas

Profª. Dra. Raquel Marchesan
Universidade Federal do Tocantins

Profª. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Norbert Fenzl
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Arleson Eduardo Monte Palma Lopes
Universidade Federal do Pará

Profa. Ma. Iná Camila Ramos Favacho de Miranda
Universidade Federal do Pará

Profª. Ma. Ana Lise Costa de Oliveira Santos
Secretaria de Educação do Estado da Bahia

Prof. Me. Diego Vieira Ramos
Centro Universitário Inga

Prof. Dr. Janaildo Soares de Sousa
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Centro de Estudos das Migrações e das Relações Interculturais, Portugal

Profª. Dra. Maria da Luz Ferreira Barros
Universidade de Evora, Portugal

Prof^a. Ma. Eliaidina Wagna Oliveira da Silva

Caixa de Assistência dos advogados da OAB-ES

Prof^a. Ma. Maria José Coelho dos Santos

Prefeitura Municipal de Serra

Prof^a. Tais Muller

Universidade Estadual de Maringá

Prof. Me. Eduardo Cesar Amancio

Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba

Prof^a. Dra. Janine Nicolosi Corrêa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Dra. Tatiana Maria Cecy Gadda

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Gabriela da Costa Bonetti

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Me. Thales do Rosário De Oliveira

Universidade de Brasília

Prof^a. Dra. Maisa Sales Gama Tobias

Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Pedro Igor Dias Lameira

Universidade Federal do Pará

Esta obra constituiu-se a partir de um processo colaborativo entre professores, estudantes e pesquisadores que se destacaram e qualificaram as discussões neste espaço formativo. Resulta, também, de movimentos interinstitucionais e de ações de incentivo à pesquisa que congregam pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento e de diferentes Instituições de Educação Superior públicas e privadas de abrangência nacional e internacional. Tem como objetivo integrar ações interinstitucionais nacionais e internacionais com redes de pesquisa que tenham a finalidade de fomentar a formação continuada dos profissionais da educação, por meio da produção e socialização de conhecimentos das diversas áreas dos Saberes.

Agradecemos aos autores pelo empenho, disponibilidade e dedicação para o desenvolvimento e conclusão dessa obra. Esperamos também que esta obra sirva de instrumento didático-pedagógico para estudantes, professores dos diversos níveis de ensino em seus trabalhos e demais interessados pela temática.

Os Organizadores

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01

PRODUÇÃO, USO E POTENCIALIDADES DE ÓLEOS EXTRAÍDOS DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA*): UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Fabricia Bomtempo; Paulo Henrique Macedo; Juliana Moreira da Silva; Raphael Pimenta

doi 10.37885/220809900 11

CAPÍTULO 02

A UTILIZAÇÃO DAS BIOMASSAS COMO FONTE DE ENERGIA SUSTENTÁVEL

Margareth Batistote; Rebeca Fasioli Silva; Maria do Socorro Mascarenhas

doi 10.37885/220809891 22

CAPÍTULO 03

BIOMASS USE AND EXPOSURE TO RESIDENTIAL AIR POLLUTION INCREASE THE RISK OF SEVERE COVID-19

Gabriela Fontes Mayrinck Cupertino; Elias Costa de Souza; Aécio Dantas de Souza Júnior; Fabíola Martins Delatorre; Alfredo José dos Santos Júnior; Álison Moreira da Silva; Allana Katiussya Silva Pereira; Jessica Grama Mesquita; João Gilberto Meza Ucella Filho; Tayná Rebonato Oliveira; Luis Filipe Cabral Cezário; Marina Passos de Oliveira; Thuelem Azevedo Curty; Ananias Francisco Dias Júnior

doi 10.37885/220508976 33

CAPÍTULO 04

CARVÃO ATIVADO DA CASCA DE BETERRABA: SÍNTESE E INVESTIGAÇÃO NA ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL VERDE BRILHANTE

Taís Port Hartz; Carla Weber Scheeren

doi 10.37885/220609281 48

CAPÍTULO 05

EFEITO DO USO DO BIOCARVÃO DE CASCA DE COCO E BAGAÇO DE LARANJA NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE *CORYMBIA CITRIODORA* HILL & JOHNSON

Alessandra Maria Ferreira Reis; Cláudia Marques dos Santos Cordovil; Elton Joneis Souza de Matos; Cantídio Fernando Gouvea; Ricardo Marques Barreiros; Michelle Conceição Vanconcelos; Gilmar Correia Silva

doi 10.37885/220809800 61

CAPÍTULO 06

ESTUDO DO POTENCIAL DA FIBRA DO *ATTALEA SPECIOSA* MART. EX SPRENG. PARA A PRODUÇÃO DE PAPEL

Ingrid da Silva Almeida; Nataly Matos da Silva; Kelvin Techera Barbosa; Silvia Helena Fuentes da Silva; Alisson Rodrigo Souza Reis; Simone Patrícia Aranha da Paz; Darci Alberto Gatto; Patrícia Soares Bilhalva dos Santos

doi 10.37885/220910128 75

CAPÍTULO 07**OPORTUNIDADES E DESAFIOS DO USO DE BIOMASSA COMPACTADA PARA FINS ENERGÉTICOS**

Astrogildo Pires Bernardo; Juan Carlos Valdés Serra; Álison Moreira da Silva; Fabíola Martins Delatorre; Ananias Francisco Dias Júnior

doi 10.37885/220709457..... 97**CAPÍTULO 08****ÓXIDO NÍTRICO COMO MITIGADOR DE ESTRESSES EM PLANTAS**

Vinícius Oliveira Amâncio; Jéssica Carolina Barbosa da Silva; Sara Cristine Farias de Oliveira; Ana Ecídia de Araújo Brito; Cândido Ferreira de Oliveira Neto; Joze Melisa Nunes de Freitas; Glauco André dos Santos Nogueira; Luma Castro de Souza; Vitor Resende do Nascimento; Gabriel Gustavo Tavares Nunes Monteiro

doi 10.37885/220709645..... 115**CAPÍTULO 09****PROCESSAMENTO DO EUCALIPTO: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA E DO ÓLEO ESSENCIAL**

Guilherme Fernando Ribeiro

doi 10.37885/220909985..... 127**SOBRE OS ORGANIZADORES 141****ÍNDICE REMISSIVO 142**

Produção, uso e potencialidades de óleos extraídos de açaí (*Euterpe oleracea*): uma revisão integrativa

| **Fabricia Bomtempo**

Universidade Estadual do Tocantins - UNITINS

| **Juliana Moreira da Silva**

Universidade Federal do Tocantins - UFT

| **Paulo Henrique Macedo**

Universidade Federal do Tocantins - UFT

| **Raphael Pimenta**

Universidade Federal do Tocantins - UFT

RESUMO

Apesar da enorme diversidade de espécies produtoras de óleo existentes na Amazônia e das numerosas possibilidades de aplicação destes, poucas espécies têm sido exploradas, assim para melhor compreensão sobre a utilização e o potencial desses óleos, o presente trabalho traz, por meio de uma revisão integrativa narrativa, inferências científicas sobre produção, uso e potencialidades de óleos extraídos de açai (*Euterpe oleracea*) da Amazônia legal. A revisão foi elaborada, durante o período de fevereiro de 2022 a agosto de 2022, por meio das principais bases de dados e selecionou, por leitura inicial de títulos e resumos e posteriormente leitura dos textos completos, artigos que tratassem do óleo de açai, excluindo trabalhos que investigaram apenas açai, ou apenas óleos de outras espécies vegetais, além de publicações que não fossem revisadas por pares e publicadas nos últimos. A compilação dos artigos elegíveis evidenciou as potencialidades tecnológicas da espécie para produção de óleo, a segurança do uso como alimento para espécies humana e animal, mostrou sucesso e problemas relacionados à exploração industrial, alimentícia, cosmética e farmacêutica desse produto e alerta para necessidade de maiores incentivos e novos avanços em pesquisa, desenvolvimento e inovação no uso dessa espécie para produção de óleo.

Palavras-chave: Óleo Vegetal, Óleo de Açai, Planta Amazônica.

■ INTRODUÇÃO

A exploração consciente da Amazônia legal oferece hoje inúmeras possibilidades de promoção e diversificação da economia existente, bem como o fortalecimento da bioeconomia, capaz de promover melhoria do bem-estar humano, equidade social e reduzir significativamente os riscos ambientais. Essa exploração racional implica em agregar valor aos produtos naturais, aliando produtividade e preservação de recursos (LAURETO; CIANCIARUSO, 2017). Conhecida mundialmente por seu potencial biológico, a Amazônia surpreende por números de biodiversidade bastante expressivos, estima-se que a região abrigue um terço do estoque genético da Terra (LIRA *et al.*, 2021).

Uma grande diversidade de plantas ricas em compostos bioativos está alocada na região amazônica, muitas já contribuem para o desenvolvimento sustentável local e têm sido crescentemente estudadas nos últimos anos. Uma planta de uso notório no conhecimento popular, principalmente da região Norte é o açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), palmeira nativa da Amazônia que é usada principalmente para o consumo de produtos como seu palmito, polpa, suco e se destaca pelo seu alto valor nutricional e sensorial (MELHORANÇA FILHO; PEREIRA, 2012). O fruto é rico em conteúdo de antocianinas, pertencentes à família dos flavonoides que conferem ao fruto uma cor avermelhada, essas são conhecidas por suas propriedades farmacológicas e medicinais, tais como: antimicrobiana, anti-inflamatória, anticarcinogênica, prevenção da oxidação de proteínas de baixa densidade (LDL), prevenção de doenças neurológicas e enfermidades cardiovasculares, influência em fatores inflamatórios associados à imunidade inata, e ao desenvolvimento de nefropatia diabética (FIGUEIREDO *et al.*, 2022; LIMA *et al.*, 2022; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Dentre os produtos de importância extrativista na região amazônica, destaca-se a exploração de óleos e gorduras vegetais obtidos através de processos variados (MARTINS, 2017). O açaí é uma excelente espécie produtora de óleo e pode ser utilizado para produção de cosméticos, pela indústria farmacêutica, de nutracêuticos, alimentícia e até mesmo para produção de combustíveis renováveis. faz-se necessário para maior aproveitamento e mais estudos sobre a qualidade e composição e o potencial da espécie para produção e comercialização de óleo (LIRA *et al.*, 2021; MATOS. *et al.* 2017).

Apesar da enorme diversidade de espécies produtoras de óleo existentes na Amazônia legal e das numerosas possibilidades de aplicação destes, poucas espécies têm sido bem exploradas (PALA *et al.*, 2018). Assim, para melhor compreensão sobre a utilização e o potencial de óleos Amazônicos, o presente trabalho traz, por meio de uma revisão integrativa narrativa, inferências científicas dos últimos 10 anos, sobre produção e potencialidades de óleos extraídos de açaí.

■ MÉTODOS

Tipo de pesquisa e bases de dados e palavras-chaves utilizadas

Foi elaborada, durante o período de fevereiro de 2022 a agosto de 2022, uma revisão narrativa integrativa, por meio das bases de dados: Capes Periódicos, Bireme, Lilacs, PubMed, *Science Direct*, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e JamaNetwork

A consulta nas bases de dados conduziu-se por meio de buscas por: “óleo de açaí”, “óleo de assaí” pelo nome científico do açaí, “*Euterpe oleracea*”, “óleo *Euterpe oleracea*”. As palavras chaves foram pesquisadas também em língua inglesa: “açaí oil”, “*Euterpe oleracea oil*”.

Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão adotados foram: estudos que apresentavam as palavras-chaves em qualquer local do texto e que tratassem de investigações sobre o tema: óleo de açaí, sua produção, uso e potencialidades. Foram excluídos os trabalhos que investigaram apenas açaí, ou apenas óleos de outras espécies vegetais, além de publicações em congressos, teses, dissertações, editoriais, cartas ao editor e artigos de jornais e artigos não revisados por pares.

Seleção e Sistematização dos Resultados

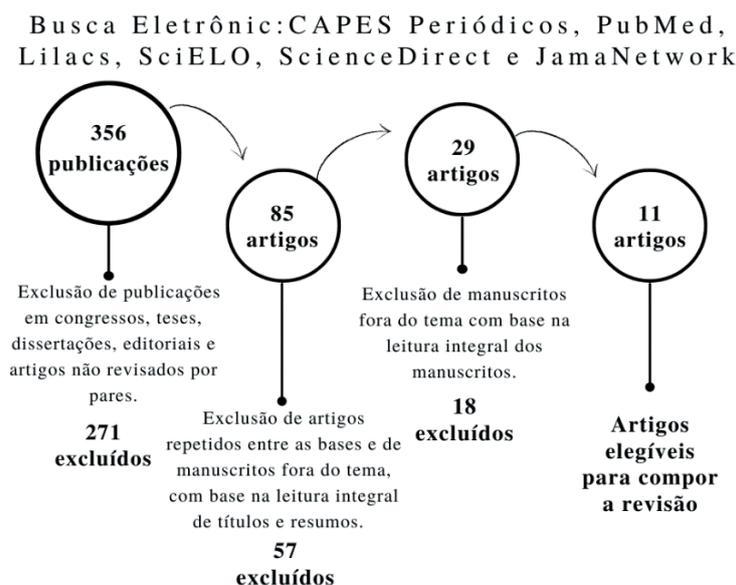
A seleção dos estudos foi realizada de forma detalhada, tendo como etapa inicial a análise de títulos e resumos e posteriormente a leitura dos textos completos. Os resultados foram sistematizados e organizados a atender o objetivo do estudo: conhecer as diversas potencialidades relacionadas a produção e ao uso do óleo de açaí.

Foram selecionados trabalhos em língua inglesa e portuguesa publicados nos últimos 10 anos, entre os anos de 2012 até o ano atual 2022.

■ RESULTADOS

Por meio da busca eletrônica nas plataformas selecionadas, foram identificadas 356 publicações, dessas 271 foram excluídos por não serem artigos publicados e revisados por pares, 57 foram excluídos após análise do título e resumos, duplicidade de estudos nas bases dados, ou não relacionados ao tema em questão. Dos 29 artigos escolhidos, 18 foram excluídos após leitura na íntegra da publicação. Na última etapa do estudo, restaram 11 artigos elegíveis, os quais foram incluídos para esta revisão. Na Figura 1 é possível visualizar o fluxograma da busca e seleção dos artigos selecionados.

Figura 1. Fluxograma com representação de elegibilidade e inclusão de artigos na seleção dos estudos.



Fonte: Autores.

Os artigos científicos elegíveis, incluídos nesta revisão, estão descritos na Tabela 1, que mostra: o objetivo do trabalho, descreve superficialmente o método básico utilizado e as principais conclusões sobre o manuscrito.

Tabela 1. Revisão integrativa dos artigos elegíveis sobre diversas potencialidades relacionadas a produção e ao uso do óleo de açaí.

Autoria (ano)	Objetivo	Metodologia	Conclusão
Ferrari & Rocha-Filho (2011).	Formular emulsões múltiplas contendo óleo de açaí como sistema modelo e avaliar sua estabilidade física e Fator de Proteção Solar (FPS) in vivo.	Emulsões múltiplas contendo óleo de açaí foram: 1. Caracterizadas 2. Avaliadas quanto à estabilidade ao longo do tempo e estabilidade preliminar e acelerada. As emulsões contendo a mesma concentração de protetores solares com e sem óleo de açaí foram avaliadas pelo International Sun Protection Factor.	Não foi observada diferença estatística no fator de proteção solar nas amostras com ou sem óleo de açaí, mostrando que o óleo não exerceu função protetora.
Fortuoso et al. (2020).	Verificar se a substituição do óleo de soja por óleo de açaí na alimentação de galinhas poedeiras melhoraria a saúde e o desempenho, bem como a qualidade dos ovos ao final do ciclo produtivo.	56 galinhas poedeiras, mesma idade, foram divididas em quatro animais cada em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos de sete repetições cada. Grupo soja (dieta basal), grupo açaí (dieta basal, Coletas de ovos: 3 dias iniciais e 21 dias.	Apesar de aumento no tamanho dos ovos das galinhas que consumiram óleo de açaí, o uso deste como substituto ao óleo de soja, não foi recomendado, pois o incremento do óleo também resultou em altas taxas de mortalidade e menores taxas de produtividade.
Hanula, et al. (2022).	Analisar o efeito da substituição de gordura usada em hambúrgueres por uma emulsão de hidrogel liofilizada enriquecida com óleo de açaí encapsulado.	A gordura da carne de hambúrgueres foi substituída por uma emulsão de hidrogel liofilizada enriquecida com óleo de açaí encapsulado. Nas concentrações de 25%, 50%, 75% e 100%. Os hambúrgueres produzidos (crus e grelhados) foram submetidos a armazenamento em condições de frio (4°C) e analisados nos dias 0 e 7. Nas análises químicas e físicas foram identificados: perfil de compostos voláteis, perfil de ácidos graxos, pH), classificação do consumidor, cor e perda de cozimento.	Hambúrgueres formulados com hidrogéis apresentaram maior teor de ácidos graxos poliinsaturados e redução de ácidos graxos saturados 22%. A reformulação do hambúrguer resultou menor índice de aterogenicidade e índice de trombogenicidade. Além disso, a aplicação de hidrogéis liofilizados reduziu a perda de cozimento e os consumidores não observaram diferenças significativas entre o controle e os hambúrgueres formulados com 25% 50% de substituto à gordura tradicional.

Autoria (ano)	Objetivo	Metodologia	Conclusão
Leite et al. (2021)	Determinar se óleo de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>) é capaz de estimular o metabolismo energético hepático e as respostas antioxidantes em peixes jovens (<i>Oreochromis niloticus</i>).	O óleo foi adicionado nas dietas de tilápias, essas foram divididas e tratadas da seguinte forma T0: (6%-óleo de soja), T1: (1%-Açaí; 5%-soja), T3: (3% Açaí; 3%-Soja) e T6: (6%-açaí).	Os resultados mostraram que o incremento de óleo na dieta dos peixes estimulou significativamente as respostas antioxidantes.
Marques et al., 2016	Avaliar o potencial genotóxico do óleo do fruto de <i>E. oleracea</i> em ratos, através da avaliação de danos ao DNA dos leucócitos, fígado, medula óssea e células testiculares.	Ratos Wistar machos foram tratados com óleo de açaí por gavagem nas doses de 30, 100 e 300 mg/kg, por 14 dias, com intervalo de 24 horas. O dano ao DNA nos leucócitos, fígado, medula óssea e células testiculares foi avaliado por comet Assay e os efeitos clastogênicos/aneugênicos nas células da medula óssea, pelo teste do micronúcleo.	Ambos os testes citogenéticos realizados mostraram que o óleo não apresentou efeitos genotóxicos significativos nas células analisadas, nas três doses testadas.
(Marques et al., 2019)	Analisar o potencial citotóxico de óleo de açaí, através dos efeitos histológicos e histoquímicos de diferentes dosagens em células de fígado e tireoide de ratos.	Ratos machos foram tratados com o óleo de açaí por gavagem nas doses de 30, 100 e 300mg/kg, por 14 dias, com intervalo de 24h. Fragmentos de fígado e tireóide foram coletados para análise histológica (hematoxilina e eosina) e histoquímica (azul de Nilo (lipídios), Baker (lipídios), azul de bromofenol (proteína), PAS (polissacarídeos).	Ratos expostos ao óleo de açaí apresentaram alterações nas células hepáticas e da tireoide. A citotoxicidade observada foi preocupante, com perda de integridade celular proporcional ao aumento da concentração de óleo administrada.
Santos et al. (2020)	Verificar o efeito da inclusão de óleo de açaí na de dietas de vacas no pré-parto através de avaliação da saúde, produção e qualidade do leite.	Dezesseis vacas Holandesas foram divididas em dois grupos: SOY usado como controle e AÇAÍ, grupo teste. Ocorreu inclusão de 4% de óleo de soja ou açaí no concentrado a partir de 20 dias pré-parto.	A dieta com óleo de açaí aumentou a produção de leite e reduziu a contagem de células somáticas. No geral o óleo de açaí nas dietas de vacas no pré-parto melhorou sua saúde, bem como a produção e qualidade do leite.
Pérez, et al. (2018).	Obter ômega-6 e 9 a partir da hidrólise dos óleos de Açaí e Buriti por lipases imobilizadas em octilsefaroze	Foram selecionados óleos de açaí e manteiga de bacuri como fonte de carbono para secreção de lipases. As lipases obtidas nestas condições foram imobilizadas em octil-sefaroze e tanto os derivados quanto os extratos brutos foram caracterizados bioquimicamente. A hidrólise dos óleos de Açaí e Buriti pelos derivados foi feita em sistema bifásico (orgânico/aquoso), e os produtos foram quantificados em RP-HPLC.	A imobilização promoveu um aumento da estabilidade e atividade da lipase nas temperaturas e pH determinados e promoveu atividade de hiperativação e lipase maiores que a enzima livre. Os resultados mostraram o potencial dessas lipases imobilizadas na obtenção de ômega-6 e 9 a partir de óleos naturais brasileiros.
Loureiro contente et al. (2020).	Analisar a capacidade de nanoemulsões à base de óleo de açaí atuarem como veículos para antifúngicos imidazol e cetoconazol.	A nanoemulsão foi obtido pelo método de inversão de fases utilizando dois tensoativos não iônicos, Cetareth-20 (Brij™ CS20) e óleo de rícino hidrogenado com polioxietileno (Cro-duret™ 50), com a concentração de cada tensoativo variando de 7 a 10 %.	As formulações com Brij apresentaram bons valores para tamanho de gota, potencial zeta e índice de polidispersidade. Quando o cetoconazol foi incorporado nestas formulações, mantendo a estabilidade física, a nanoemulsão de óleo de açaí com 10 % de Brij CS20 serviu como bom veículo para este antifúngico imidazol. No geral, as nanoemulsões de óleo de açaí provaram ser um bom veículo para antifúngicos imidazol, como o cetoconazol.
Teixeira et al. (2012)	Avaliar <i>in vitro</i> a atividade inibitória da tirosinase dos óleos de açaí, tucumã patuaú, pracaxi e castanha do Brasil e verificar a possibilidade de sua incorporação em produtos cosméticos.	A composição de ácidos graxos dos óleos foi determinada por cromatografia gasosa-deteccção de ionização em chama. Para avaliação da inibição enzimática, foi usada a enzima comercial (Sigma-Aldrich, EUA) em microplacas acrescidas dos óleos testados. A absorbância dos poços da microplaca foi lida usando um espectrofotômetro.	O estudo sugeriu que o óleo de açaí tem grande potencial no tratamento de hiperpigmentação e outros distúrbios relacionados, devido à sua considerável atividade inibitória da tirosinase.
Melhorança Filho & Pereira (2012).	Avaliar o potencial antimicrobiano do óleo da semente de açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.) nativa da região Amazônica, no desenvolvimento das bactérias <i>Pseudomonas aeruginosa</i> e <i>Staphylococcus aureus</i> .	Os óleos utilizados foram extraídos em soxhlet e impregnados em discos de celulose (6 mm). Os tratamentos utilizados foram os óleos de sementes de açaí e de sementes de duas variedades de pupunha e também da casca e polpa os quais foram extraídos em soxhlet e utilizou-se como controle, antibióticos e n-hexano.	Observou-se efeito antimicrobiano do óleo das sementes de açaí devido presença de halo de inibição.

Fonte: Autores.

■ DISCUSSÃO

O óleo de açaí apresenta os mesmos benefícios do fruto e tem sido amplamente pesquisado devido ao seu alto poder de regeneração celular, hidratação, sua ação antioxidante, regulação de lipídeos e estimulação do processo de cicatrização. É rico em compostos fenólicos com destaque para as antocianinas. O alto teor de antocianinas confere ao açaí propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes (PETRUK *et al.*, 2017).

O alto teor dos polifenóis no açaí torna-o uma das cinco frutas com maior potencial antioxidante (CEDRIM *et al.*, 2018). Antioxidantes são importantes porque, como combatem processos oxidativos, há menores danos ao DNA e às macromoléculas, amenizando, assim, os danos cumulativos que podem desencadear doenças (SCHMIDT & LISA, 2015). O óleo de açaí possui forte ação de diferentes bioativos antioxidantes, tem até 30x mais poder antioxidante que óleos tradicionais como o de semente de uva, o que lhe confere alta capacidade de combater radicais livres, prevenir envelhecimento precoce, revitalizando pele, cabelos e unhas (LIRA *et al.*, 2021).

De acordo com Favacho *et al.* (2011), o efeito de óleo de açaí em processo inflamatório, relataram que o óleo reduziu significativamente o edema, a formação de granuloma, a permeabilidade vascular e o número de neutrófilos que migram na peritonite. Sugerindo ao óleo atividade anti-inflamatória, ligada à inibição de prostaglandina. Schauss *et al.*, (2006) e Matheus *et al.*, (2006), também relataram efeito anti-inflamatório do fruto, comprovando a habilidade da polpa de inibir a atividade da COX-1 e COX-2 e iNOS, que são enzimas importantes que atuam no processo inflamatório.

O óleo fixo de açaí é rico em Ômega 6, que protege a pele contra a desidratação e melhora a produção de ceramidas, que são hidratantes naturais da própria pele, sendo indicado para auxiliar na hidratação e antienvelhecimento cutâneo. Além disso, ácidos graxos essenciais, como os encontrados no óleo de açaí, são utilizados no tratamento de feridas cutâneas por promoverem aceleração no processo de cicatrização e ainda atuarem como bactericidas (BERNAUD; FUNCHAL, 2011).

O óleo de açaí apresenta elevado teor de ácidos graxos insaturados, uma condição atraente para o mercado de alimentos funcionais. O perfil em ácidos graxos do óleo de açaí qualifica-o como um óleo comestível especial, pois apresenta, predominantemente em sua composição, ácidos graxos monoinsaturados e ácidos graxos poliinsaturados, ambos recomendados para prevenção de doenças cardiovasculares (NASCIMENTO *et al.*, 2008). Cruz *et al.* (2002), analisando a influência do açaí na redução de danos musculares em atletas, relataram que o fruto promoveu redução significativa dos marcadores de dano muscular, sem alterar a percepção subjetiva de esforço e a composição corporal.

No entanto, apesar dos inúmeros benefícios e potencialidades relatadas na literatura ao longo dos anos sobre o uso de açaí, a aplicação e consumo alimentar de outros produtos além da polpa, como, por exemplo, o óleo produzido a partir da planta, ainda necessitam de muitos estudos a fim de explorar com segurança esse potencial bioeconômico, já que ainda são escassos e contraditórios os trabalhos publicados atualmente. Marques *et al.* (2016) ao analisarem o potencial genotóxico do óleo do fruto de *E. oleracea* em ratos, concluíram que ambos os testes citogenéticos realizados no estudo apontaram para segurança do óleo e ausência de efeitos genotóxicos significativos nas células analisadas em todas as doses testadas. No entanto, Marques *et al.* (2019) analisando o efeito histológico e histoquímico de diferentes dosagens de óleo de açaí, através em células de fígado e tireoide de ratos, descreveram como preocupante o uso do óleo da planta já que alterações celulares hepáticas e da tireoidianas foram observadas com perda de integridade celular proporcional ao aumento da concentração de óleo administrada. Assim, estudo principalmente sobre as dosagens seguras e recomendadas são muito necessários.

O pequeno número de publicações obtidas através da revisão permite inferir que a espécie *Euterpe oleracea*, apesar do próprio nome científico sugerir alto rendimento para produção de óleos, ainda é pouco investigada quanto ao seu uso para obtenção de formulações oleosas, são muito mais vastos os estudos da planta em forma de polpa ou algum tipo de extrato. Deste modo, estudos de caracterização bioquímica, quantidades seguras de uso, métodos de extração mais promissores, melhores condições de armazenamento, tempo de prateleira, produção em larga escala, fazem-se urgentes a fim de explorar esse potencial uso bioeconômico e valorizar, cada vez mais, econômica e ambientalmente, a biodiversidade amazônica. Faz-se necessário incentivar novos avanços em pesquisa, desenvolvimento e inovação do uso dessa espécie para produção de óleo.

■ CONCLUSÃO

O estudo prospectivo de revisão possibilitou, por meio das bases de dados selecionadas, elencar os trabalhos relacionados ao óleo da palmeira *Euterpe oleracea* nos últimos 10 anos. A compilação dos artigos elegíveis evidenciou as potencialidades tecnológicas da espécie para produção de óleo, a segurança do uso como alimento para espécies humana e animal, mostrou sucesso e problemas relacionados à exploração industrial, alimentícia, cosmética e farmacêutica desse produto.

O número de publicações obtidas permite inferir que a espécie *Euterpe oleracea*, apesar do próprio científico sugerir alto rendimento para produção de óleos, é muito mais estudada na forma de extrato e que formulações oleosas ainda precisam ser amplamente estudadas já que existem poucas referências e contradições na literatura existente, sobre os métodos de

extração mais promissoras, melhores condições de armazenamento, estudos sobre tempo de prateleira, produção em larga escala. Estudos precisam ser destinados ao tema a fim de explorar esse potencial uso bioeconômico e valorizar, cada vez mais, econômica e ambientalmente, a biodiversidade amazônica. Assim, faz-se necessário incentivar novos avanços em pesquisa, desenvolvimento e inovação do uso dessa espécie para produção de óleo.

■ REFERÊNCIAS

1. BERNAUD, R. F. S.; FUNCHAL, C. D. S. Atividade antioxidante do açaí. **Nutrição Brasil**, v. 10, n. 5, p. 310-316, 2011.
2. CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. Antioxidant properties of acai (*Euterpe oleracea*) in the metabolic syndrome. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 21, e2017092, 2018.
3. DA S. DOS SANTOS, D.; KLAUCK, V.; CAMPIGOTTO, G.; ALBA, D.; DOS REIS, J.; GEBERT, R.; DA SILVA, A. Benefits of the inclusion of açaí oil in the diet of dairy sheep in heat stress on health and milk production and quality. **Journal of Thermal Biology**, v. 84, p. 250-258. 2019.
4. FAVACHO, H.; OLIVEIRA, B.; SANTOS, K.; MEDEIROS, B.; SOUSA, P.; PERAZZO, F.; CARVALHO, J. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Euterpe oleracea* Mart., Arecaceae, oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, n. 1, p. 105-114, 2011.
5. FERRARI, M.; ROCHA-FILHO, P. Multiple emulsions containing amazon oil: Açaí oil (*Euterpe oleracea*). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, n. 4, p. 737-743, 2011.
6. FIGUEIREDO, A.; CARDOSO, A.; PEREIRA, B.; SILVA, R.; RIPA, A.; PINELLI, T.; PAIVA, S. Açaí supplementation (*Euterpe oleracea* Mart.) attenuates cardiac remodeling after myocardial infarction in rats through different mechanistic pathways. **PloS One**, v. 17, n. 3, E0264854, 2022.
7. FORTUOSO, B.; GALLI, G.; DE OLIVEIRA, R.; SOUZA, C.; BALDISSERA, M.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, A. Effects of soybean oil replacement by açaí oil in laying hen diets on fatty acid profile and egg quality. **Animal Feed Science and Technology**, v. 263, 114452, 2020.
8. HANULA, M.; SZPICER, A.; GÓRSKA-HORCZYCZAK, E.; KHACHATRYAN, G.; POGORZELSKA-NOWICKA, E.; POLTORAK, A. Quality of Beef Burgers Formulated with Fat Substitute in a Form of Freeze-Dried Hydrogel Enriched with Açaí Oil. **Molecules**, v. 27, n. 12, p. 3700, 2022.
9. LEITE, T.; PICOLI, F.; LOPES, D.; BALDISSERA, M.; SOUZA, C.; BALDISSEROTTO, B.; DA SILVA, A. The effects of açaí oil addition in tilapia diets on performance, hepatic energy metabolism enzymes and antioxidant responses. **Aquaculture Research**, v. 52, n. 1, p. 395-402, 2021.

10. LIMA, D.; SERRALHA, R.; BERTOLINI, A.; FERRES, L.; SILVA, M.; MOURO, M.; HIGA, E. Effects of açai on the inflammatory response of NLRP3 in experimental diabetes mellitus. *Free Radical Biology & Medicine*, v. 180, S83. 2022.
11. LIRA, G. B.; LOPES, A. S. C.; NASCIMENTO, F. C. A.; CONCEIÇÃO, G. S.; BRASIL, D. D. S. B. Extraction processes and industrial uses of andiroba and açai oils: a review. *Research, Society and Development*, v. 10, n.12, 2021.
12. LOUREIRO CONTENTE, D.; PEREIRA, R.; RODRIGUES, A.; DA SILVA, E.; RIBEIRO-COSTA, R.; CARRERA SILVA-JÚNIOR, J. Nanoemulsions of Acai Oil: Physicochemical Characterization for the Topical Delivery of Antifungal Drugs. *Chemical Engineering & Technology*, v. 43, n. 7, p. 1424-1432, 2020.
13. MARQUES, E.; FRODER, J.; CARVALHO, J.; ROSA, P.; PERAZZO, F.; MAISTRO, E. Evaluation of the genotoxicity of *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae) fruit oil (açai), in mammalian cells in vivo. *Food and Chemical Toxicology*, v. 93, p. 13-19, 2016.
14. MARQUES, E.; FRODER, J.; OLIVEIRA, P.; PERAZZO, F.; ROSA, P.; GAIVÃO, I.; MAISTRO, E. Cytotoxic effects of *Euterpe oleracea* fruit oil (açai) in rat liver and thyroid tissues. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 29, n. 1, p. 54-61, 2019.
15. MELHORANÇA FILHO, A. L.; PEREIRA, M. R. R. Antimicrobial activity of açai and pupunha oils on the development of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 4, p. 598-603, 2012.
16. OLIVEIRA, A.; MIYAGAWA, L.; MONTEIRO, K.; DIAS, A.; LONGATO, G.; SPINDOLA, H.; ROGEZ, H. Phenolic composition, antiproliferative and antiulcerogenic activities of a polyphenol-rich purified extract from açai (*Euterpe oleracea*) fruits. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 56, n. 12, p. 6626-6634, 2021.
17. PALA, D.; BARBOSA, P.; SILVA, C.; DE SOUZA, M.; FREITAS, F.; VOLP, A.; FREITAS, R. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) dietary intake affects plasma lipids, apolipoproteins, cholesteryl ester transfer to high-density lipoprotein and redox metabolism: a prospective study in women. *Clinical Nutrition*, Pleasantville, v. 37, n. 2, p. 618-623, 2018.
18. PÉREZ, M. M.; GONÇALVES, E. C. S.; SALGADO, J. C. S.; ROCHA, M. D. S.; ALMEIDA, P. Z. D.; VICI, A. C.; INFANTE, J. D. C.; GUIÁN, J. M.; ROCHA-MARTIN, J.; PESSELA, B.C.; POLIZELI, M. D. L. T. D. M. Production of Omegas-6 and 9 from the Hydrolysis of Açai and Buriti Oils by Lipase Immobilized on a Hydrophobic Support. *Molecules*, v. 23, n. 11, p. 3015, 2018.
19. PETRUK, G.; ILLIANO, A.; GIUDICE, R. D.; RAIOLA, A.; AMORESANO, A.; RIGANO, M. M.; PICCOLI, R.; MONTI, D. M. Malvidin and cyanidin derivatives from açai fruit (*Euterpe oleracea* Mart.) counteract UV-A-induced oxidative stress in immortalized 16 fibroblasts. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, v. 172, p. 42–51, 2017.
20. RIOS, M. N. da S.; PASTORE JR, F. (org.). **Plantas da Amazônia: 450 espécies de uso geral**, Brasília, biblioteca central, 2011.3379.p
21. SANTOS, D.; KLAUCK, V.; SOUZA, C.; BALDISSERA, M.; THEISEN, C.; BORDIGNON, B.; SILVA, A. Effects of the inclusion of açai oil in diet of prepartum Holstein cows on milk production, somatic cell counts and future lactation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, n. 4, E20200149, 2020.

22. SCHMIDT H. H. H.; LISA F. D. **Antioxidants & redox signaling**. 1 ed. Columbia (USA), v. 23, n. 14, 2015.
23. TEIXEIRA, R.; ROCHA, P.; POLONINI, H.; BRANDÃO, M.; CHAVES, M.; RAPOSO, N. Mushroom tyrosinase inhibitory activity and major fatty acid constituents of Amazonian native flora oils. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 48, n. 3, p. 399-404, 2012.

A utilização das biomassas como fonte de energia sustentável

| Margareth Batistote

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS

| Rebeca Fasioli Silva

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS

| Maria do Socorro Mascarenhas

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS

RESUMO

Este estudo teve como objetivo apresentar um panorama sobre a composição da matriz energética mundial e brasileira, bem como, analisar as principais biomassas utilizadas para a produção de etanol neste país. Foi realizada uma pesquisa exploratória descritiva nos moldes da cienciometria com uma busca preliminar sobre estudos de caracterização e empregabilidade de diferentes biomassas para a produção de bioenergia. A coleta de dados foi realizada por meio de um levantamento em artigos e outros documentos publicados e em *sites* com informações relevantes a pesquisa. A análise da composição da matriz energética mundial demonstrou que ainda há uma grande dependência das fontes fósseis de energia, principalmente advindas do petróleo, e que a matriz energética brasileira difere da mundial. O Brasil já inseriu em sua matriz energética as biomassas, utilizando amplamente os derivados da cana-de-açúcar, a lenha e o carvão vegetal e algumas, dada a sua composição, são empregadas em processos biotecnológicos como na produção de biocombustíveis como o etanol.

Palavras-chave: Recursos Renováveis, Impactos Ambientais, Bioetanol.

■ INTRODUÇÃO

A partir da globalização houve uma integração na economia mundial por meio da abertura do comércio exterior, o que influenciou no modo de vida da população em relação a aquisição de bens de consumo. Tal fato refletiu na qualidade do meio ambiente. Ocorreu conjuntamente, um fenômeno de aceleração da produção nos diferentes setores que sustentam a economia global desencadeando uma alta demanda por energia, e por consequência, uma pressão sobre as fontes de energia existentes evidenciando a necessidade de ampliar a matriz energética mundial (REHMAN *et al.*, 2021).

Entretanto, atrelado a busca de novas fontes de energia está a preocupação com os impactos que tais fontes podem gerar ao meio ambiente. Assim um dos desafios agora é buscar novas fontes ou matérias-primas para suprir a demanda por energia e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos ambientais principalmente do lançamento de gases do efeito estufa na atmosfera (DUCA e TOSCANO, 2022).

Os impactos ambientais relacionados a utilização de energia estão diretamente relacionados com a sua fonte geradora, podendo ser de origem não renovável como as fontes derivadas de recursos naturais como o gás, o carvão e o petróleo, todavia a superexploração levou ao seu esgotamento; e as renováveis oriundas de fontes de energia naturais ou recursos renováveis, como a energia solar, hidrelétrica, geotérmica, maremotriz e biomassa, que são consideradas como fontes promissoras pois causam menor impacto ao meio ambiente além de propiciar uma economia neutra em carbono (DUCHEMIN, 2022).

De acordo com Mehmood *et al.* (2021), a prioridade agora é a mitigação dos impactos ambientais e a proteção do meio ambiente. Assim, uma alternativa viável para atender estes objetivos é o uso de fontes renováveis como as biomassas para a produção de energia. As biomassas são recursos naturais renováveis que possuem alta capacidade de transformação, são compostas por culturas classificadas como energéticas e que podem ser empregadas como matérias-primas para diferentes processos (SANTOS *et al.*, 2022). As culturas energéticas ou biomassas surgem como alternativas promissoras frente a utilização de fontes fósseis de energia, as não renováveis, pois podem atender às necessidades energéticas da sociedade moderna de forma sustentável e limpa (JAVED *et al.*, 2022).

O Brasil tem se destacado na produção e utilização de biomassas. Este país possui características propícias ao cultivo de diferentes culturas energéticas que possuem alto potencial de empregabilidade. A produção de etanol é um bom exemplo de utilização de biomassas, pois esta importante fonte de energia pode ser produzida a partir de culturas energéticas distintas, sendo necessário que haja em sua composição açúcares fermentescíveis, uma vez que o processo de produção de etanol ocorre por ação biológica tendo as leveduras como agentes da fermentação (ALVES e PAIXÃO, 2018). O etanol brasileiro tem

como matéria-prima a cana-de-açúcar e o milho (ECKERT *et al.*, 2018), culturas com alto potencial de produtividade por hectares.

A produção de etanol possibilita a mitigação de impactos ambientais principalmente relacionado as questões do aquecimento global que de acordo com projeções da NOVACANA (2022), a utilização deste biocombustível pode diminuir em até 89% a emissão de gases na atmosfera, sendo neste sentido considerado como um combustível ecologicamente correto. O etanol é produzido em diferentes países do mundo e os principais produtores são os Estados Unidos, com uma média de 60 bilhões de litros utilizando como biomassa o milho e em segundo lugar o Brasil com uma taxa de produção em torno de 30 bilhões de litros de bioetanol a partir da cana-de-açúcar e do milho, segundo a União Nacional da Bioenergia (UDOP, 2020).

Assim, dada a versatilidade de utilização de biomassas para produção de energia este estudo visa apresentar um panorama sobre a composição da matriz energética do mundo e brasileira, bem como analisar as principais biomassas utilizadas para a produção de etanol neste país.

■ MÉTODOS

Local do desenvolvimento do estudo

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Biotecnologia, Bioquímica e Biotransformação no Centro de Estudo em Recursos Naturais – CERNA da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados/MS.

A natureza da pesquisa

A pesquisa foi de natureza exploratória descritiva, realizada nos moldes da cienciometria. Para tanto foi realizada uma busca preliminar sobre a produção científica relacionada aos estudos de caracterização e empregabilidade de diferentes biomassas para a produção de bioenergia. A pesquisa cienciométrica oferece a possibilidade de quantificar e mensurar dados qualitativos. Este método oportuniza além da análise do estado da arte de um determinado objeto ou fenômeno a possibilidade de expandir e traçar novos conhecimentos a partir do conhecimento já consolidado (PARRA; COUTINHO e PESSANO, 2019). A cienciometria é considerada como uma metodologia interdisciplinar que permite a inserção de novas perspectivas em determinada área do conhecimento (DE BRITO STECKELBERG *et al.*, 2022).

A coleta e tratamento dos dados

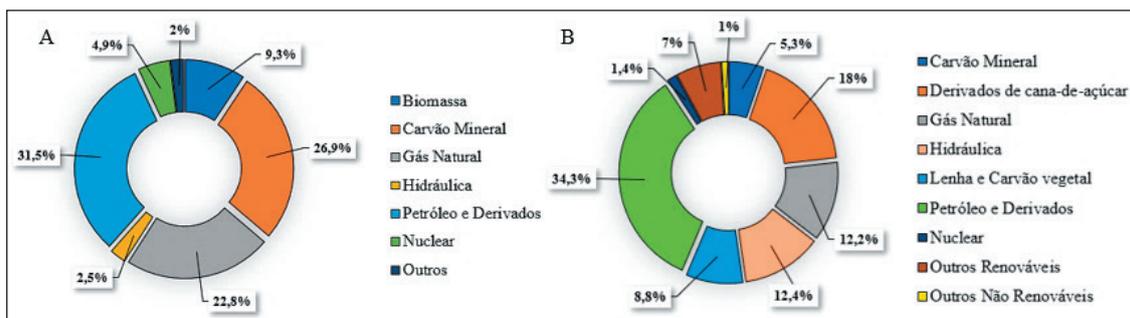
A coleta de dados foi realizada por meio de um levantamento em base de dados como artigos e outros documentos publicados e em sites com informações relevantes a pesquisa. Os dados foram compilados com o auxílio do *software* Excel 2019®.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da composição da matriz energética mundial, pode-se observar que grande parte das fontes de energia são oriundas de fontes fósseis não renováveis e são compostas por carvão mineral com 26,9%, o gás natural 22,5% e as advindas do petróleo 31,5% (Figura 1A). É notório que há uma diferença entre a matriz energética mundial e a matriz energética brasileira. Este país utiliza uma diversidade de fontes de energia, mesmo com a predominância do uso do petróleo com 34,3%, os recursos naturais representam 33,8% das fontes de energia utilizada, dentre as quais se destacam as biomassas, principalmente, com os derivados da cana-de-açúcar 18%, a lenha e o carvão vegetal 8,8% além de outras fontes renováveis que juntas somam 7% (Figura 1B). Os dados mostram que as biomassas já fazem parte da matriz energética brasileira, uma vez que, podem ser amplamente empregadas para processos biotecnológicos diversos, principalmente para a produção de bioenergia e biocombustíveis.

Uma das questões mais relevantes para a sociedade moderna é a substituição de combustíveis fósseis por recursos renováveis que atendam a demanda global de energia de forma eficiente (VELVIZHI *et al*, 2021). Do ponto de vista energético, as biomassas são as fontes ou matérias-primas promissoras que podem atender as demandas em diferentes vertentes, pois propiciam a utilização de processos sustentáveis e podem ser transformadas em diferentes formas de energia, além de conter biomoléculas aplicáveis em indústrias químicas (DAIOGLOU *et al.*, 2015).

Figura 1. Matriz energética mundial (A) e brasileira (B) em 2021.



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022).

O alto potencial de utilização das biomassas pode levar a uma segurança energética e a uma possibilidade de mitigação dos impactos gerados pela liberação de CO₂ na atmosfera. Trata-se de fontes naturais renováveis que possuem uma economia circular eficiente conforme salienta Velvizhi *et al.* (2021). A utilização destas fontes renováveis como fonte alternativa para a geração de energia se mostra promissora, uma vez que trazem vantagens como a possibilidade de redução das emissões dos gases de efeito estufa – GEE, precursores do aquecimento global e das mudanças climáticas associadas (NARNAWARE e PANWAR, 2022), além de minimizar a dependência e a exploração dos recursos fósseis (CLOETE; DEL POZO; ÁLVARO, 2022).

As biomassas compreendem além das culturas energéticas qualquer matéria orgânica oriunda de fontes biogênicas (AHORSU *et al.*, 2018). Para Zhai *et al.* (2021), a biomassa pode ser composta por plantas lenhosas, herbáceas, aquáticas e restos culturais ou resíduos animal e humana, industriais entre outros. Sudhakar *et al.* (2021) salientam que as biomassas estão despertando o interesse da comunidade científica por ser uma fonte barata e renovável que possuem em sua composição carboidratos, lipídios, proteínas e outros nutrientes, os quais possuem uma vasta aplicação como matéria-prima.

Contudo, a sua natureza deve ser considerada para que haja um aproveitamento máximo de seu potencial quando usada para fins energéticos, assim é importante planejar e desenvolver tecnologias robustas para a conversão das biomassas em ativos que possam atender às demandas globais tanto por energia quanto para produtos químicos e outros materiais. Segundo Borowski (2022) a energia produzida a partir da biomassa tem um papel significativo para o processo de descarbonização, assim como, nas mudanças do mercado de energia.

Um bom exemplo está na produção de biocombustíveis, dentre eles, o mais promissor é o etanol (FAKAYODE *et al.*, 2021), que pode ser obtido a partir de diferentes biomassas dependendo apenas da composição em açúcares (Tabela 1).

Tabela 1. Biomassas com alto potencial de transformação utilizadas para a produção de etanol.

Natureza dos açúcares	Biomassas	Referências
Sacarinas	- Cana-de-açúcar ¹ - Sorgo sacarino ² - Beterraba ³	¹ Thielmann; Cavalcante e Young (2022); ² Santos et al. (2018); ³ De Medeiros Dantas; Beigbeder e Lavoie (2022)
Amiláceas	- Milho ¹ - Mandioca ² - Batata doce ³ - Trigo ⁴	¹ Da Silva Timm et al. (2022); ² Phachanseesoulath et al. (2022); ³ Maia; Da Silva Oliveira (2022); ⁴ Li et al. (2022)
Celulósicas	- Bagaço de cana ¹ - Palha de cana ² - Madeira ³ - Restos culturais ⁴	¹ Da Silva Fernandes et al. (2022); ² Hoang et al. (2021); ³ Roy et al. (2021)

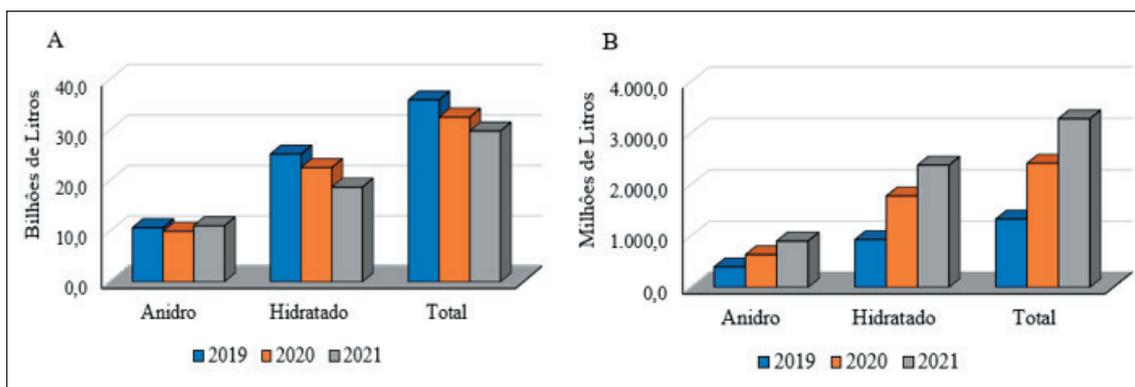
Fonte: Dados compilados pelos autores.

De acordo com Manochio *et al.* (2017), as matérias-primas ideais para a produção de etanol devem ter características como: alta produtividade agrícola, curtos ciclos produtivos, baixo consumo energético, baixo custo de produção entre outras. Ademais, as biomassas podem ser utilizadas para diversos fins e processadas em diferentes plantas industriais utilizando processos biotecnológicos (SANTOS; BATISTOTE, 2020).

O Brasil vem apresentando uma produtividade expressiva de etanol. Contudo, nos últimos anos houve um recuo da produção a base de cana-de-açúcar (Figura 2A). Todavia, a produção deste biocombustível a partir do milho, embora recente no Brasil, vem apresentando bons resultados (Figura 2B).

As biomassas mais utilizadas para este tipo de processo são as sacarinas, sendo utilizadas principalmente a cana-de-açúcar e a beterraba com uma produção equivalente a cerca de 40% do total deste biocombustível e as amiláceas em torno de 60% (MENDIBURU *et al.*, 2022).

Figura 2. Produção de etanol brasileiro a partir da cana-de-açúcar (A) e do milho (B) nos últimos anos.



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022).

No Brasil a produção de etanol tem como biomassa a cana-de-açúcar conjuntamente com o milho (SRIVASTAVA *et al.*, 2021), por meio de um processo de primeira geração (E1G). A utilização do milho para a produção de bioetanol, neste país, pode movimentar uma cadeia produtiva e promover também o desenvolvimento socioeconômico das regiões produtoras tendo em vista a necessidade de mão-de-obra, equipamentos, insumos e outros (NEVES; MENDONÇA, 2020).

A utilização das biomassas como matéria-prima para processos biotecnológicos e para a transformação de energia está em consonância com a Meta 7.2 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU na ODS 7 – “que dispõe sobre o “aumento da participação de energias renováveis na matriz energética global” (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015). A Meta 7.2 inclui os biocombustíveis e bioenergias obtidos a partir das biomassas, que estipulam a redução de emissões de gases poluentes no meio ambiente.

Nesta perspectiva, o etanol produzido a partir de biomassas possui um balanço de carbono eficiente (BOROWSKI, 2022).

■ CONCLUSÃO

A análise da composição da matriz energética mundial demonstra que ainda há uma grande dependência das fontes fósseis de energia. Existe uma diferença entre a matriz energética mundial e a matriz energética brasileira, uma vez que o Brasil utiliza uma diversidade de fontes de energia, mesmo com a predominância do uso do petróleo os recursos naturais estão presentes nesta matriz, sendo utilizadas as biomassas como os derivados da cana-de-açúcar, a lenha e o carvão vegetal.

As biomassas já estão presentes na matriz energética brasileira como fonte de energia e algumas, dada a sua composição, são empregadas em processos biotecnológicos diversos, como para a produção de biocombustíveis como o etanol.

O Brasil vem despontando como um exemplo na utilização das biomassas, não somente como fontes de energia para suprir a sua demanda, mas também como uma estratégia promissora para atender as premissas do desenvolvimento sustentável, pois a utilização destas fontes renováveis possibilita a mitigação dos impactos ambientais causados pela superexploração e uso de energias fósseis.

Agradecimentos

Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT); Financiadora de Inovação e Pesquisas (FINEP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) –Código 001 a RFS e MSM.

■ REFERÊNCIAS

1. AHORSU, Richard et al. Significance and challenges of biomass as a suitable feedstock for bioenergy and biochemical production: A review. **Energies**, v. 11, n. 12, p. 3366, 2018.
2. ALVES, M. B. N.; PAIXÃO, A. E. Mapeamento tecnológico dos cultivares de cana-de-açúcar da RIDESA com base no censo Varietal 2016/2017, no estado de Alagoas. **Revista INGI-Indicação Geográfica e Inovação**, v. 2, n. 2, p. 3, 2018.
3. BOROWSKI, Piotr F. Management of Energy Enterprises in Zero-Emission Conditions: Bamboo as an Innovative Biomass for the Production of Green Energy by Power Plants. **Energies**, v. 15, n. 5, p. 1928, 2022.

4. CLOETE, Schalk; DEL POZO, Carlos Arnaiz; ÁLVARO, Ángel Jiménez. System-friendly process design: Optimizing blue hydrogen production for future energy systems. **Energy**, p. 124954, 2022.
5. DA SILVA FERNANDES, Flávia et al. Current Ethanol Production Requirements for the Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. **International Journal of Microbiology**, v. 2022, 2022.
6. DA SILVA TIMM, Newton et al. Effects of corn drying and storage conditions on flour, starch, feed, and ethanol production: a review. **Journal of Food Science and Technology**, p. 1-13, 2022.
7. DAIIOGLOU, Vassilis et al. Competing uses of biomass for energy and chemicals: implications for long-term global CO2 mitigation potential. **Gcb Bioenergy**, v. 7, n. 6, p. 1321-1334, 2015.
8. DE BRITO STECKELBERG, Rosa Maria et al. Scientometric analysis of scientific production on the genus *Campomanesia Ruiz & Pav.* (Myrtaceae) and most studied species-research trends involving native Brazilian plants. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e19111124639-e19111124639, 2022.
9. DE MEDEIROS DANTAS, Julia Maria; BEIGBEDER, Jean-Baptiste; LAVOIE, Jean-Michel. Evaluation of physicochemical preservation techniques for the storage of sugar beet molasses followed by bioethanol production. **Process Biochemistry**, v. 116, p. 8-16, 2022.
10. DUCA, Daniele; TOSCANO, Giuseppe. Biomass Energy Resources: Feedstock Quality and Bioenergy Sustainability. **Resources**, v. 11, n. 6, p. 57, 2022.
11. DUCHEMIN, Benoît. The sustainability of phytomass-derived materials: thermodynamical aspects, life cycle analysis and research perspectives. **Green Chemistry**, v. 24, n. 7, p. 2653-2679, 2022.
12. ECKERT, C. T. et al. Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 3907-3912, 2018.
13. EGGLESTON, Gillian; LIMA, Isabel. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries. **Sustainability**, v. 7, n. 9, p. 12209-12235, 2015.
14. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. ABCDEnergia. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/ABCDEnergia>. Acesso em 25 de agosto de 2022.
15. FAKAYODE, Olugbenga Abiola et al. Integrated bioprocess for bio-ethanol production from watermelon rind biomass: Ultrasound-assisted deep eutectic solvent pretreatment, enzymatic hydrolysis and fermentation. **Renewable Energy**, v. 180, p. 258-270, 2021.
16. HOANG, Anh Tuan et al. Acid-based lignocellulosic biomass biorefinery for bioenergy production: Advantages, application constraints, and perspectives. **Journal of Environmental Management**, v. 296, p. 113194, 2021.
17. JAVED, Muhammad Uzair et al. Sustainable processing of algal biomass for a comprehensive biorefinery. **Journal of Biotechnology**, 2022.
18. LI, Jun et al. Fuel ethanol production from starchy grain and other crops: An overview on feedstocks, affecting factors, and technical advances. **Renewable Energy**, 2022.

19. MAIA, Ana Heloisa; DA SILVA OLIVEIRA, Tatizia Gomes. Evaluation of the sweet potato cultivars, in Nova Xavantina-Mato Grosso, Brazil. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, p. 49765-49776, 2022.
20. MANOCHIO, C. et al. Ethanol from biomass: A comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 743-755, 2017.
21. MEHMOOD, Usman et al. The interactional role of globalization in tourism-CO2 nexus in South Asian countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 21, p. 26441-26448, 2021.
22. MENDIBURU, Andrés Z. et al. Ethanol as a renewable biofuel: Combustion characteristics and application in engines. **Energy**, p. 124688, 2022.
23. NARNAWARE, Sunil L.; PANWAR, N. L. Biomass gasification for climate change mitigation and policy framework in India: A review. **Bioresource Technology Reports**, v. 17, p. 100892, 2022.
24. NEVES, P. D. M.; MENDONÇA, M. R. Expansão do agronegócio canavieiro no sul goiano e os efeitos na produção de alimento. Confins. **Revue Franco-brésilienne de Géographie/Revista Franco-brasilera de Geografia**, n. 44, 2020.
25. NOVACANA. Aplicações e usos do etanol. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/aplicacoes>. Acesso em: 23 de agosto de 2022.
26. PARRA, Maurício Rodrigues; COUTINHO, Renato Xavier; PESSANO, Edward Frederico Castro. Um breve olhar sobre a cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. **Revista Contexto & Educação**, v. 34, n. 107, p. 126-141, 2019.
27. PHACHANSEESOULATH, Nithnilanch et al. The use of commercial wine yeast *Saccharomyces cerevisiae* EC1118 for cassava ethanol production at high solids loading. **Korean Journal of Food Preservation**, v. 29, n. 4, p. 653-661, 2022.
28. REHMAN, Abdul et al. The impact of globalization, energy use, and trade on ecological footprint in Pakistan: does environmental sustainability exist?. **Energies**, v. 14, n. 17, p. 5234, 2021.
29. ROY, Sharmili et al. Recent nanobiotechnological advancements in lignocellulosic biomass valorization: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 297, p. 113422, 2021.
30. SAMEERODDIN, Mohd et al. Renewable energy: fuel from biomass, production of ethanol from various sustainable sources by fermentation process. **Materials Today: Proceedings**, 2021.
31. SANTOS, M. D. S. M.; BATISTOTE, M. Renewable Sources and Their Applications in Biotechnological Processes. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v.9, n.2, p. 155-170, 2020.
32. SANTOS, Maria do Socorro Mascarenhas et al. Energy cultures and sustainability in biofuel production. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 9, n. 1, p. e6719-e6719, 2022.

33. SANTOS, Maria do Socorro Mascarenhas et al. Potential of saccharine substrates for ethanol production. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, v. 10, n. 1, p. 14-21, 2018.
34. SUDHAKAR, M. P et al. Pretreatment and process optimization of bioethanol production from spent biomass of *Ganoderma lucidum* using *Saccharomyces cerevisiae*. *Fuel*, v. 306, p. 121680, 2021.
35. THIELMANN, Erika; CAVALCANTE, Raquel M.; YOUNG, André F. Simulation and economic evaluation of different process alternatives for the fermentation and distillation steps of ethanol production. *Energy Conversion and Management*, v. 265, p. 115792, 2022.
36. UDOP- União Nacional da Bioenergia. Etanol. 2021. Disponível em: <https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1178162>. Acesso em 23 de agosto de 2022.
37. UN GENERAL ASSEMBLY - Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development - resolution A/RES/70/1 adopted by the general assembly on 25 september 2015. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em 30 de agosto de 2022.
38. VELVIZHI, G. et al. Integrated biorefinery processes for conversion of lignocellulosic biomass to value added materials: Paving a path towards circular economy. *Biore-source Technology*, v. 343, p. 126151, 2022.
39. ZHAI, Jihua et al. Beneficial management of biomass combustion ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 151, p. 111555, 2021.

Biomass use and exposure to residential air pollution increase the risk of severe Covid-19

- | **Gabriela Fontes Mayrinck Cupertino**
Federal University of Espírito Santo - UFES
- | **Elias Costa de Souza**
Agriculture College "Luiz de Queiroz" - ESALQ
University of São Paulo - USP
- | **Aécio Dantas de Souza Júnior**
Federal Rural University of Rio de Janeiro - UFRRJ
- | **Fabíola Martins Delatorre**
Federal University of Espírito Santo - UFES
- | **Alfredo José dos Santos Júnior**
Agriculture College "Luiz de Queiroz" - ESALQ
University of São Paulo - USP
- | **Álison Moreira da Silva**
Agriculture College "Luiz de Queiroz" - ESALQ
University of São Paulo - USP
- | **Allana Katiussya Silva Pereira**
Agriculture College "Luiz de Queiroz" - ESALQ
University of São Paulo - USP
- | **Jessica Grama Mesquita**
Midwest State University - UNICENTRO
- | **João Gilberto Meza Ucella Filho**
Federal University of Espírito Santo - UFES
- | **Tayná Rebonato Oliveira**
Federal University of Espírito Santo - UFES
- | **Luis Filipe Cabral Cezário**
Federal University of Espírito Santo - UFES
- | **Marina Passos de Oliveira**
Federal University of Espírito Santo - UFES
- | **Thuelem Azevedo Curty**
Federal University of Espírito Santo - UFES
- | **Ananias Francisco Dias Júnior**
Federal University of Espírito Santo - UFES

ABSTRACT

Biomass remain the principal energy source for cooking food for around 3 billion people worldwide. It is often burned in equipment with low efficiency and high emission of pollutants, which reduces the air quality inside homes. In this work, we discuss the main health problems that are related to the use of biomass and poor air quality in homes. We also brought information about the possible risks associated with COVID-19 in populations in greater social vulnerability and discussed the current situation in these countries, emphasizing the countries that most use solid fuels as a source of energy in homes. Health authorities must turn their attention to some Africa and Asia regions. These regions, despite not yet having a high number of cases and deaths due to COVID-19 like other more developed regions, can be considered as areas of risk, due to the great use of biomass as a residential fuel.

Keywords: Biomass Smoke, Developing Countries, Household air Pollution, SARS-CoV-2.

■ INTRODUCTION

Firewood was the first energy source that man was able to control and use for heating, lighting, and cooking food (BRITO, 2007; HARARI, 2021). Over the years, new energy sources have been discovered, but biomass along with kerosene remain the primary energy source for cooking food for about 3 billion people around the world (WHO, 2018). What concerns the government authorities are the conditions for the use of biomass since much of this population uses low-efficiency equipment and cooks under precarious conditions, with poor ventilation, which generates a high concentration of polluting material that is inhaled in these homes (VAN VLIET *et al.*, 2019; WHO, 2018). In several regions of the planet, mainly in countries with greater financial difficulties, biomass is used both for cooking food and for heating and lighting homes; however, several studies correlate exposure to biomass smoke with respiratory diseases that can cause health complications and lead to death (FALFÁN-VALENCIA *et al.*, 2020; LAUMBACH; KIPEN, 2012; MAZUMDER *et al.*, 2019; MISRA *et al.*, 2018; VAN VLIET *et al.*, 2019).

Although most of the studies that correlate the burning of biomass in homes with respiratory diseases have been carried out in developing or underdeveloped countries, there are more recent studies that correlate the health risks of people using these energy sources in developed countries and in developing countries with a high rate of urbanization (CINCINELLI *et al.*, 2019; GORDON *et al.*, 2014; GUAN *et al.*, 2016; SIGSGAARD *et al.*, 2015; TRICHE *et al.*, 2005). These studies assess the health impacts on different social groups in these countries with a high rate of urbanization, because of the change in the energy source used for residential heating, from non-renewable sources to biomass (CINCINELLI *et al.*, 2019; GUAN *et al.*, 2016; SIGSGAARD *et al.*, 2015).

In Europe, the use of firewood in the energy sector has grown in recent years. It is estimated that around 65 million direct heating devices (such as fireplaces, stoves, and ovens) and 8 million indirect heating devices (such as boilers) use biomass as energy source. This growth is due to the global concern regarding climate change and the constant search for environmentally friendly energy sources (CINCINELLI *et al.*, 2019; SIGSGAARD *et al.*, 2015) and due to the impacts of the 2008 crisis, which made wood more sought after as a cheaper alternative than oil and electricity to provide heating for homes (CINCINELLI *et al.*, 2019; KRECL *et al.*, 2008; SIGSGAARD *et al.*, 2015). Air quality directly interferes with respiratory health due to the large contact area between the environment and the surface of the respiratory system (LIU; FAN; HUANG, 2020). People who have chronic diseases are at a higher risk (2.7 times) of developing other diseases compared to the healthy population, which puts the lives of these populations at imminent risk in case of contact with viruses or bacteria (FAN *et al.*, 2020).

The new severe acute respiratory syndrome coronavirus (Sars-CoV-2), which has been in circulation around the world since the end of 2019, brought several alerts to different social groups (CDC, 2020; HUANG *et al.*, 2020). An example of this is that, in the southern hemisphere, Brazil recorded the first case on February 25 and today, just over a year later, the number of deaths reached over 400 thousand, with the number of cases exceeding 14 million (CANDIDO *et al.*, 2020; WHO, 2021). Much research is being carried out to try to better understand the whole dynamics of the new coronavirus, and some results already show the greater risk that certain groups of people may face if they are contaminated by this virus; these groups include diabetics, cardiac and people with breathing problems (CDC, 2020; LIPPI & HENRY, 2020; TIAN *et al.*, 2020). Residential biomass combustion can favor the development of respiratory comorbidities due to exposure to solid and gaseous pollutants. Understanding the risk and development of respiratory diseases from exposure to these pollutants can guide decision-making to prevent the worsening of the clinical picture in patients infected with Sars-CoV-2. This work hypothesizes that people who are more exposed to biomass smoke, due to the low technology used in the burning equipment, are more likely to develop respiratory problems and can develop severe COVID-19 cases if contaminated by Sars-CoV-2.

Thus, this work aimed to investigate the main problems associated with the use of biomass in homes with low-tech burning equipment and to map risk areas around the world, considering the percentage of use of biomass as an energy source, financial conditions, and difficulties in accessing health systems in these regions.

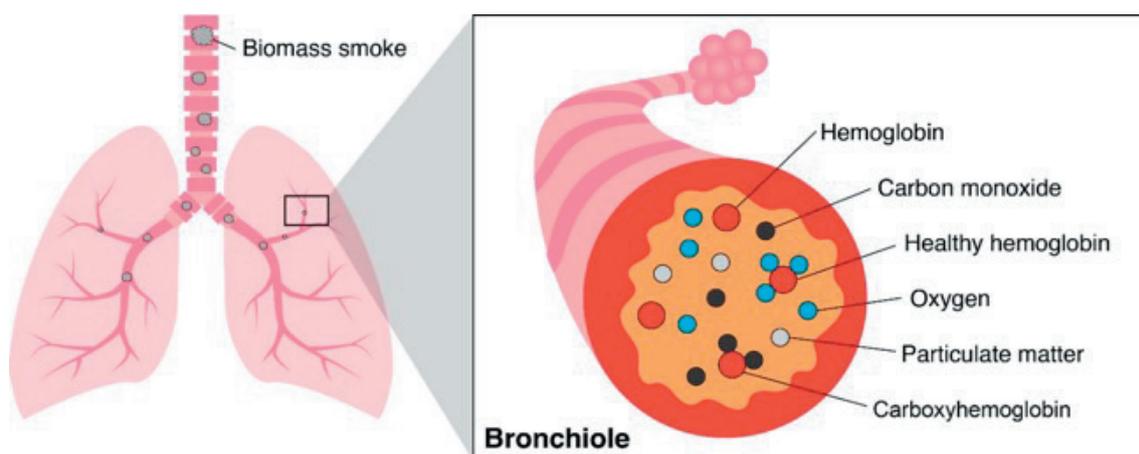
■ HOUSEHOLD AIR POLLUTION AS A HEALTH THREAT

Lighting, heating, and cooking are considered universal needs. For a large part of the world population, the payment of a monthly bill is the guarantee of obtaining them. However, for about 3 billion people, mainly in underdeveloped countries, meeting these daily needs requires much more effort and risk exposure (ABDULLAHI *et al.*, 2013; WHO, 2016). For this group of people, the heat needed to carry out daily needs depends on the burning of biomass, be it wood harvested from miles away, low-efficiency waste such as animal manure and crop residues, and even the use of charcoal purchased from almost zero income. The energy generation for these 3 billion people depends on solid fuels, which are burned inefficiently and are highly polluting, turning the home environment into a place of high health risk (WHO 2014; WHO, 2016). This is because of the airborne particulate material (PM) originated from biomass burning, which is one of the six pollutants monitored by the United States Environmental Protection Agency – EPA (AMOUEI TORKMAHALLEH *et al.*, 2017; UPA, 2014). This material comprises a wide class of diverse substances that exist as discrete particles (liquid or solid droplets) in a wide variety of sizes, being categorized into PM 10

(particles with 10 micrometers in diameter) or PM 2.5 (particles with 2.5 micrometers in diameter) (CHANG *et al.*, 2021; EPA, 2014).

The International Agency for Research on Cancer (IARC) classifies PM as one of the principal components of air pollution and as a carcinogen for humans (CHANG *et al.*, 2021; LOOMIS; HUANG; CHEN, 2014). Inhalation causes this highly dangerous material to be transported to the lungs, causing respiratory problems such as asthma, bronchitis, acute respiratory diseases, and can even lead to death (KIM *et al.*, 2017). Coarse particles (PM 10) are captured by the nasal cavity, upper airways, or chest cavity, while smaller particles (PM 2.5) can reach the smaller areas of the body and the pulmonary alveoli (WHO, 2016). Because they are particles with tiny diameters, PM 2.5 and PM 10 (smaller than 2.5 μm and 10 μm , respectively), they can penetrate the alveoli and spread into the bloodstream, favoring the occurrence of cardiovascular diseases (PRATALI *et al.*, 2019; WHO, 2020). Brook *et al.* (2004) state that, upon contact with blood, CO forms a compound (Carboxyhemoglobin) that prevents oxygen exchange in the lungs from occurring, which reduces blood O₂ levels (Figure 1).

Figure 1. Demonstration of the occurrence of cardiovascular diseases due to long-term exposure to smoke from burning biomass.



Source: The authors (2021).

In poorly ventilated domestic environments, emissions of PM and other pollutants can reach a level 100 times higher than recommended by experts (WHO, 2014). Children and the elderly are the most affected, being vulnerable to the development of other diseases or even more prone to death (KIM *et al.*, 2017). According to the report of the World Health Organization (WHO, 2016), this household air pollution is the biggest environmental risk factor worldwide, being responsible for the premature death of about 4 million people each year. For countless families around the world, the commitment to health is based on performing activities essential to life. This risk exposure is determined and perpetuated by poverty, which explains the fact that most deaths caused by household air pollution occur in low- and

middle-income countries in families that do not have access to clean fuel alternatives or the resources to purchase them.

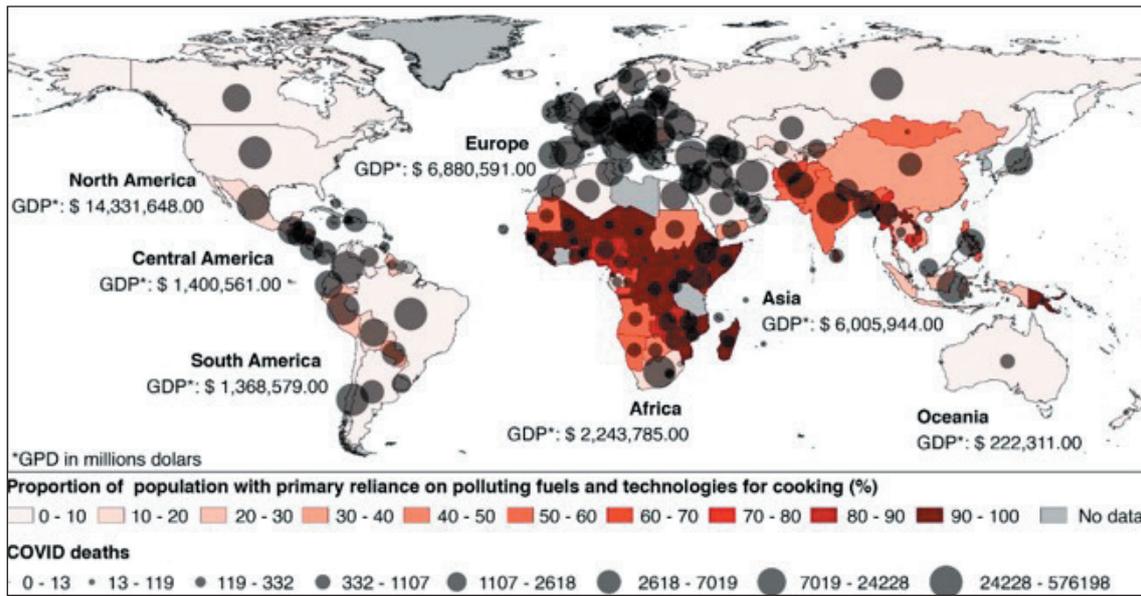
COVID-19 AND THE SIGNIFICANT RISK FOR BIOMASS USERS IN HOMES

Predictive models indicated that the second wave could occur between the months of July 2020 and January 2021 (CACCIAPAGLIA; COT; SANNINO, 2020). However, even after facing this second wave, some countries like Brazil continue to observe the high moving average of cases and deaths. This situation concerns health authorities in several countries, due to the burden on health systems.

According to more recent studies, it is already possible to know that some pre-existing conditions can contribute to the serious development of COVID-19 if these people are exposed to SARS-CoV-2 (CDC 2020). The association of diseases and respiratory problems with the worsening of the problems caused by COVID-19 has been proven in several recent studies (CDC, 2020; WU *et al.*, 2020). These conditions can be developed through several factors, mainly behavioral, such as the type of food, lack of physical exercise, cigarette consumption, and even exposure to pollution, both outdoors and indoors. A factor that significantly contributes to the decrease in air quality, both indoors and outdoors, is the residential use of biomass without the ideal conditions and equipment for safe use (VAN VLIET *et al.*, 2019; WHO, 2018).

Figure 2 shows that the continents that proportionally use more biomass as an energy source in their homes are countries that have a significantly low GDP per capita, when compared to developed continents (IMF, 2020). Consequently, as they have less purchasing power, these continents have less intensity of air transport for activities such as tourism, work, among others. This and also the fact that these continents test less than more developed ones may have contributed to low numbers of COVID-19 cases (IATA, 2019). The continents with the highest financial indicators have the highest national and international air traffic, which, together with other factors, may have contributed to the wide dissemination of COVID-19 in their territories and, by testing more, they are able to estimate better the number of people infected (IATA, 2019; LAU *et al.*, 2020).

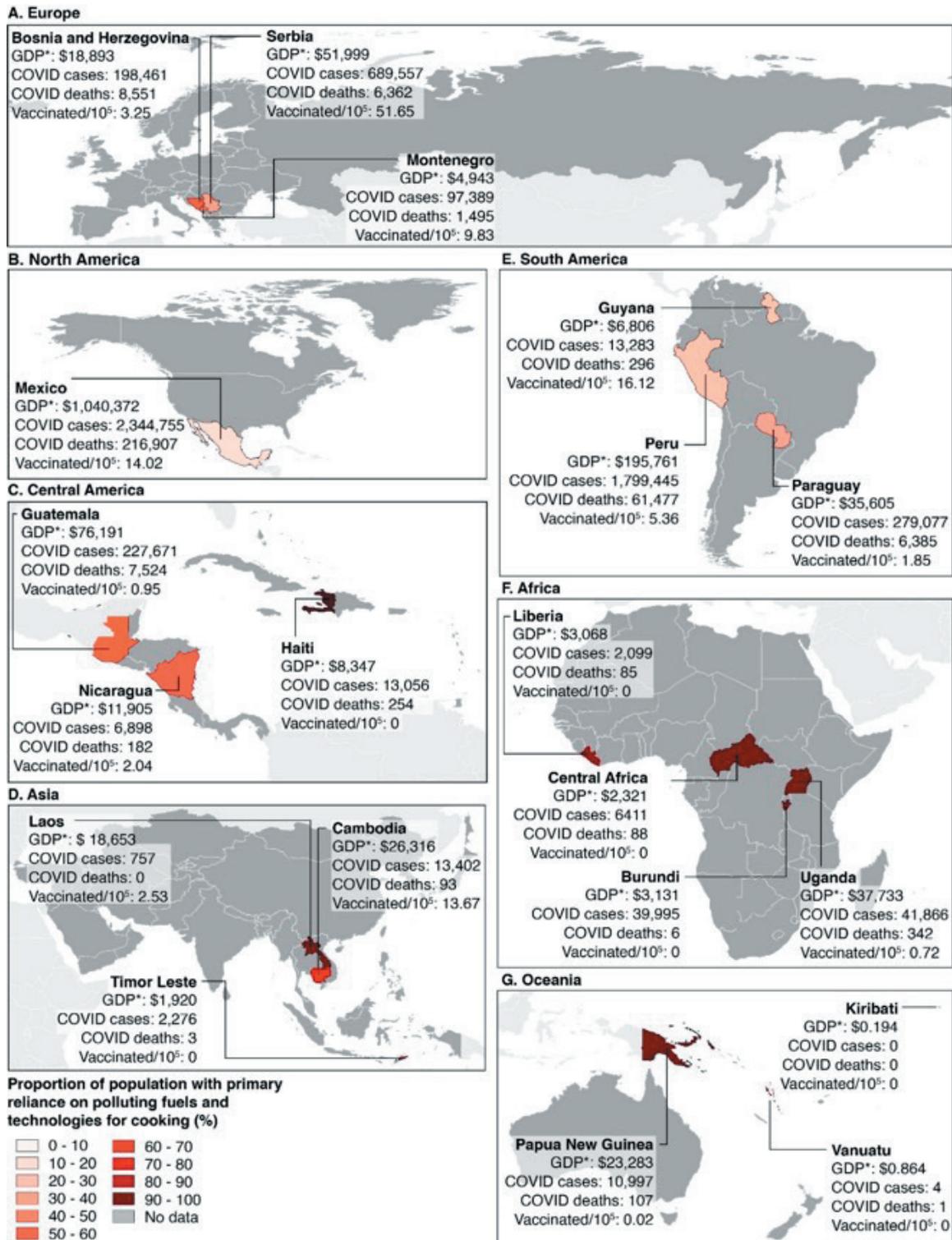
Figure 2. Relationship between biomass use, number of deaths from COVID-19 and GDP in different regions of the world.



Source: Adapted from IMF (2020); WHO (2018, 2021).

Figure 3 presents the panorama of the three main countries that use the most biomass on each continent, relating the economic situation (GDP), number of deaths by COVID 19, and vaccination in each country.

Figure 3. Overview of the three countries that most use biomass on each continent with GDP, deaths from COVID 19 and vaccination.



Where: \$ = GDP of the regions; Circles = number of cases; Colors = Use of biomass.

Source: Adapted from IMF (2020); WHO (2018, 2021).

The African continent is the one with the highest percentage of biomass use, in different countries. Among the countries of that continent, the Democratic Republic of Congo, the Central African Republic, Niger and Mali stand out, among others which have low access to

clean fuels and use solid fuels as an energy source in their homes. On this continent, only 0.72% of the population received the dose of the COVID-19 vaccine and in none of these countries mentioned is there a record that vaccination is already taking place (HANNAH RITCHIE *et al.*, 2020). However, except for the Democratic Republic of Congo and Mali, which had just over 29 and 13 thousand cases of COVID-19, respectively, the other countries mentioned have reported, to date, less than 10 thousand cases (HANNAH RITCHIE *et al.*, 2020). Despite the low circulation discussed earlier, these countries need more attention if new variants of the virus manage to reach them, mainly because they have not started vaccinating their population.

Of the Central and South American countries, the greatest attention should be paid to Haiti, which has a low rate of use of clean fuels and a high rate of use of solid fuels in homes. So far, Haiti, which has a population of just over 11 million, has reported just over 13,000 cases of COVID-19 (HANNAH RITCHIE *et al.*, 2020). There is still no information on the start of vaccination in Haiti, which can worsen the situation of its population and hinder their recovery in the post-pandemic period (HANNAH RITCHIE *et al.*, 2020).

From the Asian region, we can highlight Laos as a major consumer of solid fuels, which puts the country on the list of countries that consume the least clean fuels in that region. In addition to Laos, we can highlight Myanmar, the Philippines, and India, as countries on the continent where less than 50% of the population has access to clean fuels. So far, India has reported approximately 19 million cases of COVID-19, while the Philippines has reported just over 1 million, Myanmar has reported just over 140 thousand cases and Laos has reported only 757 cases, which is an excellent result for a country with a population just over 7 million inhabitants (HANNAH RITCHIE *et al.*, 2020). Although India has applied more than 150 million and the Philippines has managed to apply more than 1.9 million doses of the vaccine, so far, there is no information on vaccination in Laos or Myanmar, the most economically fragile countries. In these developing countries with low access to clean fuels, the population most exposed to these risks are women and children, due to the amount of time they spend inside homes (HANNAH RITCHIE *et al.*, 2020).

Children under the age of five exposed to smoke in closed environments may be the most vulnerable to the worsening of COVID-19 (AHMED *et al.*, 2020; SAHA; CHOUHAN, 2020). These children, along with the mothers who take part in food preparation, are the ones that most have respiratory problems, due to the air quality inside the homes with air pollution. The relationship between exposure to air pollution, through levels of particulate matter and other pollutants, and deaths due to COVID-19 has been observed in studies carried out in different regions of the world (COKER *et al.*, 2020; OGEN, 2020; WU *et al.*, 2020). This greater exposure to particulate material and other pollutants occurs in homes that use biomass as fuel

but do not adopt the correct precautions for its use. In addition to the high risk of death those biomass users are exposed to, when SARS-CoV-2 contamination occurs, these individuals are more likely to develop more severe COVID-19 conditions.

In addition to the residential use of biomass, other factors can aggravate the condition, as a recent study among patients hospitalized with COVID-19 in China reported that smokers were fourteen times more likely to die compared to nonsmokers (LIU; FAN; HUANG, 2020), results in line with other studies that suggest the severity of the virus in these individuals (ALMAZEEDI *et al.*, 2020; SINGH, 2020; WILSON, 2020; WHO, 2020). The combination of these two factors (a person who smokes and uses biomass incorrectly at home) can severely compromise the individual's respiratory system and worsen the condition of COVID-19, leading to death in some cases.

Under more severe conditions, which affect approximately between 17 and 35% of people, hospitalization with the aid of artificial oxygenation is necessary (WIERSINGA *et al.*, 2020). People with more severe illnesses develop dyspnoea and hypoxemia, which can progress to the development of acute respiratory distress syndrome (ARDS), sepsis, and multiple organ failure (CHEN *et al.*, 2020; ROBBA *et al.*, 2020). Recent studies have shown that patients who developed ARDS and who needed to use mechanical ventilators are likely to develop other respiratory problems and even develop permanent lung damage after recovery (JIANG; MCCOY, 2020).

These factors cause greater alertness to people who use biomass in their homes and develop severe COVID-19 conditions because after the hospitalization period this person is again exposed to the same pollutants inside his/her residence since biomass is the only energy source used for heating, lighting, and cooking. Most times, there are no financial conditions for a change in the fuel used, or for the acquisition of suitable burning equipment to guarantee energy efficiency safely, improving the air quality inside homes. This fact must be considered, mainly in the social planning of the government, for the post-pandemic era.

In addition to the factors already presented, recent studies are already able to understand how the impacts of SARS-CoV-2 can occur in populations that are exposed to the smoke from burning biomass (PAITAL; AGRAWAL, 2021; THAKUR; KUMAR; SHARMA, 2020; TUNG *et al.*, 2021). The high exposure to nitrogen dioxide (NO₂) and particulate matter (PM) promotes overexpression of angiotensin-converting enzyme 2 (ACE-2) in the cells of the respiratory tract, and ACE-2 has already been identified as a receptor with a high affinity for SARS-CoV-2 (PAITAL; AGRAWAL, 2021; TUNG *et al.*, 2021). Some studies also suggest that the PM may act as a "carrier" of the virus, indicating that, in addition to generating overexpression of ACE-2 in the respiratory tract, the effluents from burning biomass may, at the

same time, be responsible for the infection of people that have contact with these materials (CAO *et al.*, 2021; PAITAL; AGRAWAL, 2021; TUNG *et al.*, 2021).

These discoveries should serve as a warning to communities that use biomass as an energy source. If one of the locals comes into contact with SARS-CoV-2 and develops COVID-19, he/she may end up infecting others, according to these proposed new models, given that studies indicate that the time that viruses can remain active in aerosols varies between 0.64 and 2.64h (CAO *et al.*, 2021; PAITAL; AGRAWAL, 2021; VAN DOREMALEN *et al.*, 2020).

■ CONCLUSION

The use of biomass, when not carried out properly, increases the levels of pollutants in indoor environments, which reduces air quality and increases users' exposure to elements harmful to health. Several studies have already shown that there is a correlation between air quality and the increase in the number of deaths due to COVID-19.

Given these results, health authorities must turn their attention to Africa and Asia regions. These regions, despite not yet having a high number of cases and deaths due to COVID-19 like other more developed regions, can be considered as areas of risk, due to the great use of biomass as a residential fuel. Therefore, if there is an increase in cases in these regions, there is a high chance that there will be an above-average mortality rate, when compared with other regions, due to both the aspect of pre-existing respiratory problems and the difficulty of accessing health care in these places.

Future studies must be carried out in order to verify the possible impacts of the transmission of COVID-19 through the gaseous effluents that are released during the burning of biomass. In this way, more concrete actions can be taken by the responsible authorities around the world.

■ REFERENCES

1. ABDULLAHI, K. L.; DELGADO-SABORIT, J. M.; HARRISON, R. M. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. **Atmospheric Environment**, v. 71, p. 260–294, june 2013.
2. AHMED, M. et al. Multisystem inflammatory syndrome in children: A systematic review. **EClinicalMedicine**, v. 26, p. 100527, sept. 2020.
3. ALMAZEEDI, S. et al. Characteristics, risk factors and outcomes among the first consecutive 1096 patients diagnosed with COVID-19 in Kuwait. **EClinicalMedicine**, v. 24, p. 100448, july 2020.

4. AMOUEI TORKMAHALLEH, M. et al. Review of factors impacting emission/concentration of cooking generated particulate matter. **Science of The Total Environment**, v. 586, p. 1046–1056, may 2017.
5. BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 185–193, apr. 2007.
6. CACCIAPAGLIA, G.; COT, C.; SANNINO, F. Second wave COVID-19 pandemics in Europe: a temporal playbook. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 15514, 23 dec. 2020.
7. CANDIDO, D. S. et al. Evolution and epidemic spread of SARS-CoV-2 in Brazil. **Science**, v. 369, n. 6508, p. 1255–1260, 4 sept. 2020.
8. CAO, Y. et al. Multiple relationships between aerosol and COVID-19: A framework for global studies. **Gondwana Research**, v. 93, p. 243–251, may 2021.
9. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, C. **Certain Medical Conditions and Risk for Severe COVID-19 Illness | CDC**. Available in: <<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/need-extra-precautions/people-with-medical-conditions>>. Access in: 23 july 2021.
10. CHANG, H. (SEAN) et al. Why cleaning the invisible in restaurants is important during COVID-19: A case study of indoor air quality of an open-kitchen restaurant. **International Journal of Hospitality Management**, v. 94, p. 102854, apr. 2021.
11. CHEN, N. et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. **The Lancet**, v. 395, n. 10223, p. 507–513, feb. 2020.
12. CINCINELLI, A. et al. Residential wood combustion and its impact on urban air quality in Europe. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 8, p. 10–14, apr. 2019.
13. COKER, E. S. et al. The Effects of Air Pollution on COVID-19 Related Mortality in Northern Italy. **Environmental and Resource Economics**, v. 76, n. 4, p. 611–634, 4 aug. 2020.
14. FALFÁN-VALENCIA, R. et al. Smoke exposure from chronic biomass burning induces distinct accumulative systemic inflammatory cytokine alterations compared to tobacco smoking in healthy women. **Cytokine**, v. 131, p. 155089, july 2020.
15. FAN, J. et al. Influenza vaccination rate and its association with chronic diseases in China: Results of a national cross-sectional study. **Vaccine**, v. 38, n. 11, p. 2503–2511, mar. 2020.
16. GORDON, S. B. et al. Respiratory risks from household air pollution in low and middle income countries. **The Lancet Respiratory Medicine**, v. 2, n. 10, p. 823–860, oct. 2014.
17. GUAN, W.-J. et al. Impact of air pollution on the burden of chronic respiratory diseases in China: time for urgent action. **The Lancet**, v. 388, n. 10054, p. 1939–1951, oct. 2016.
18. HANNAH RITCHIE et al. **Coronavirus (COVID-19) Cases - Statistics and Research - Our World in Data**. Available in: <<https://ourworldindata.org/covid-cases#cases-of-covid-19-background>>. Access in: 24 july 2021.

19. HANNAH RITCHIE et al. **Coronavirus (COVID-19) Vaccinations - Statistics and Research - Our World in Data**. Available in: <<https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>>. Access in: 24 July 2021.
20. HARARI, Y. N. Sapiens: uma breve história da humanidade. In: 1. ed. p. 360–462.
21. HUANG, C. et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. **The Lancet**, v. 395, n. 10223, p. 497–506, Feb. 2020.
22. IATA. **World Air Transport Statistics 2019**. Available in: <<https://www.iata.org/contentassets/a686ff624550453e8bf0c9b3f7f0ab26/wats-2019-mediakit.pdf>>. Access in: 24 June 2021.
23. INTERNATIONAL MONETARY FUND, I. **Report for Selected Countries and Subjects**. Available in: <<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2021/April/>>. Access in: 24 June 2021a.
24. INTERNATIONAL MONETARY FUND, I. **World Economic Outlook (April 2021)**. Available in: <https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP_RPCH@WEO/OEMDC/ADVEC/WEO_WORLD>. Access in: 24 June 2021b.
25. JIANG, D. H.; MCCOY, R. G. Planning for the Post-COVID Syndrome: How Payers Can Mitigate Long-Term Complications of the Pandemic. **Journal of General Internal Medicine**, v. 35, n. 10, p. 3036–3039, 22 Oct. 2020.
26. KIM, Y. et al. Long-run health consequences of air pollution: Evidence from Indonesia's forest fires of 1997. **Economics & Human Biology**, v. 26, p. 186–198, Aug. 2017.
27. KRECL, P. et al. Contribution of residential wood combustion and other sources to hourly winter aerosol in Northern Sweden determined by positive matrix factorization. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 8, n. 13, p. 3639–3653, 10 July 2008.
28. LAU, H. et al. The association between international and domestic air traffic and the coronavirus (COVID-19) outbreak. **Journal of Microbiology, Immunology and Infection**, v. 53, n. 3, p. 467–472, June 2020.
29. LAUMBACH, R. J.; KIPEN, H. M. Respiratory health effects of air pollution: Update on biomass smoke and traffic pollution. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 129, n. 1, p. 3–11, Jan. 2012.
30. LIPPI, G.; HENRY, B. M. Chronic obstructive pulmonary disease is associated with severe coronavirus disease 2019 (COVID-19). **Respiratory Medicine**, v. 167, p. 105941, June 2020.
31. LIU, B.; FAN, D.; HUANG, F. Relationship of chronic kidney disease with major air pollutants - A systematic review and meta-analysis of observational studies. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 76, p. 103355, May 2020.
32. LOOMIS, D.; HUANG, W.; CHEN, G. The International Agency for Research on Cancer (IARC) evaluation of the carcinogenicity of outdoor air pollution: focus on China. **Chinese Journal of Cancer**, v. 33, n. 4, p. 189–196, 5 Apr. 2014.
33. MAZUMDER, S. et al. A clean fuel cookstove is associated with improved lung function: Effect modification by age and secondhand tobacco smoke exposure. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 2487, 21 Dec. 2019.

34. MISRA, A. et al. Household fuel use and biomarkers of inflammation and respiratory illness among rural South African Women. **Environmental Research**, v. 166, p. 112–116, oct. 2018.
35. OGEN, Y. Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. **Science of The Total Environment**, v. 726, p. 138605, june 2020.
36. PAITAL, B.; AGRAWAL, P. K. Air pollution by NO₂ and PM_{2.5} explains COVID-19 infection severity by overexpression of angiotensin-converting enzyme 2 in respiratory cells: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, n. 1, p. 25–42, 18 feb. 2021.
37. PRATALI, L. et al. Indoor air pollution exposure effects on lung and cardiovascular health in the High Himalayas, Nepal: An observational study. **European Journal of Internal Medicine**, v. 61, p. 81–87, mar. 2019.
38. ROBBA, C. et al. Multiple organ dysfunction in SARS-CoV-2: MODS-CoV-2. **Expert Review of Respiratory Medicine**, v. 14, n. 9, p. 865–868, 1 sept. 2020.
39. SAHA, J.; CHOUHAN, P. Indoor air pollution (IAP) and pre-existing morbidities among under-5 children in India: are risk factors of coronavirus disease (COVID-19)? **Environmental Pollution**, v. 266, p. 115250, nov. 2020.
40. SIGSGAARD, T. et al. Health impacts of anthropogenic biomass burning in the developed world. **European Respiratory Journal**, v. 46, n. 6, p. 1577–1588, dec. 2015.
41. SINGH, A. K. COVID-19 experience in Kuwait: A high prevalence of asymptomatic cases and increased mortality in smokers. **EClinicalMedicine**, v. 24, p. 100462, july 2020.
42. THAKUR, K.; KUMAR, N.; SHARMA, N. Effect of the Pandemic and Lockdown on Mental Health of Children. **The Indian Journal of Pediatrics**, v. 87, n. 7, p. 552–552, 12 july 2020.
43. TIAN, S. et al. Pulmonary Pathology of Early-Phase 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pneumonia in Two Patients With Lung Cancer. **Journal of Thoracic Oncology**, v. 15, n. 5, p. 700–704, may 2020.
44. TRICHE, E. W. et al. Indoor Heating Sources and Respiratory Symptoms in Nonsmoking Women. **Epidemiology**, v. 16, n. 3, p. 377–384, may 2005.
45. TUNG, N. T. et al. Particulate matter and SARS-CoV-2: A possible model of COVID-19 transmission. **Science of The Total Environment**, v. 750, p. 141532, jan. 2021.
46. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, E. **Climate Change Indicators in the United States**. Available in: <<https://www.epa.gov/climate-indicators>>. Access in: 24 june 2021.
47. VAN DOREMALEN, N. et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 16, p. 1564–1567, 16 apr. 2020.
48. VAN VLIET, E. D. S. et al. Current respiratory symptoms and risk factors in pregnant women cooking with biomass fuels in rural Ghana. **Environment International**, v. 124, p. 533–540, mar. 2019.

49. WIERSINGA, W. J. et al. Pathophysiology, Transmission, Diagnosis, and Treatment of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). **JAMA**, v. 324, n. 8, p. 782, 25 aug. 2020.
50. WILSON, C. Smokers are actually at a higher risk of dying from covid-19. **New Scientist**, v. 246, n. 3283, p. 8–9, may 2020.
51. WORLD HEALTH ORGANIZATION, W. **Household fuel combustion Executive summary**. Available in: <www.who.int>. Access in: 24 june 2021.
52. WORLD HEALTH ORGANIZATION, W. **Burning Opportunity: Clean Household Energy for Health, Sustainable Development, and Wellbeing of Women and Children**. Available in: <www.who.int>. Access in: 24 june 2021.
53. WORLD HEALTH ORGANIZATION, W. **Proportion of population with primary reliance on polluting fuels and technologies for cooking (%)**. Available in: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/gho-phe-population-with-primary-reliance-on-polluting-fuels-and-technologies-for-cooking-proportion>. Access in: 24 june 2021.
54. WORLD HEALTH ORGANIZATION, W. **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard I WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard With Vaccination Data**. Available in: <https://covid19.who.int/>. Access in: 24 june 2021.
55. WORLD HEALTH ORGANIZATION, W. **Brazil: WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard With Vaccination Data I WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard With Vaccination Data**. Available in: <https://covid19.who.int/region/amro/country/br>. Access in: 24 june 2021.
56. WU, X. et al. Evaluating the impact of long-term exposure to fine particulate matter on mortality among the elderly. **Science Advances**, v. 6, n. 29, 17 july 2020.
57. WU, Z.; MCGOOGAN, J. M. Characteristics of and Important Lessons From the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China. **JAMA**, v. 323, n. 13, p. 1239, 7 apr. 2020.

Carvão Ativado da Casca de Beterraba: Síntese e Investigação na Adsorção do Corante Têxtil Verde Brilhante

| **Taís Port Hartz**

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

| **Carla Weber Scheeren**

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

RESUMO

O desenvolvimento desta trabalho baseou-se em relatar a importância da utilização de diferentes resíduos agroindustriais como adsorventes alternativos de baixo custo. Estes adsorventes podem inclusive serem aplicados em diferentes áreas, como por exemplo na remoção de corantes, compostos orgânicos voláteis e metais pesados. Este estudo teve como objetivo a síntese de um novo adsorvente alternativo de baixo custo. Deste modo, foi sintetizado um carvão ativado a partir da casca de beterraba, denominado de casca de beterraba (CA). Este novo adsorvente sintetizado, foi investigado em estudos de adsorção do corante têxtil verde brilhante. O carvão ativado sintetizado a partir da casca de beterraba exibiu alta eficiência no processo de adsorção do corante têxtil verde brilhante. Os resultados exibiram percentuais de 89 % a 91 % de redução da concentração das soluções do corante verde brilhante, utilizando-se o novo adsorvente CA em quantidades de 0,5 g ou 1,0 g em soluções de corante têxtil verde brilhante de 100 mg L⁻¹ ou 150 mg L⁻¹ durante 60 minutos em intervalos de 10 minutos e após até 3h em intervalos de 30 minutos de tratamento.

Palavras-chave: Beterraba, Carvão Ativado, Corante Têxtil, Adsorção.

■ INTRODUÇÃO

As inúmeras transformações ocasionadas pela Revolução industrial deram início ao constante processo de desenvolvimento tecnológico. O surgimento de um elevado número de indústrias, teve como consequência a contaminação de águas superficiais e subterrâneas provenientes dos efluentes (TOMASELLA *et al.*, 2015). A presença de poluentes orgânicos em efluentes industriais gera a necessidade do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para sua remoção. Muitas vezes esses contaminantes encontram-se em baixas concentrações, oferecendo resistência aos métodos de tratamento convencionais (BRAGA *et al.* 2005). Sua presença causa alteração indesejável nas características físicas, químicas e biológicas do meio (devido à alta toxicidade, forte coloração, baixos níveis de oxigênio e alta carga orgânica dos compostos) ocasionando danos à saúde dos seres humanos e animais (PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013).

O efluente do setor têxtil tem sido relatado como o mais poluente, devido ao elevado volume gerado e forte coloração que se deve a presença de corantes que não se fixaram totalmente as fibras. Vários processos têm sido propostos para o tratamento dos efluentes têxteis, entre os quais podemos destacar, a coagulação-floculação, precipitação química e a oxidação. No entanto, esses processos geralmente produzem um resíduo que também necessita de tratamento, além de terem um custo elevado e possuírem eficiência limitada (QUEIROZ *et al.*, 2016). O processo de adsorção tem sido investigado na remoção de poluentes para que estes possam se enquadrar em padrões de descarte ao meio ambiente. Este processo apresenta vantagens como menor custo, simplicidade de operação, eficiência e possibilidade de desenvolvimento de adsorventes provenientes de materiais de fácil obtenção.

■ PROCESSO DE ADSORÇÃO E ADSORVENTES

A adsorção é um processo que tem atraído grande atenção nas últimas décadas devido a possibilidade de aplicações em áreas tecnológicas, biológicas e de proteção ambiental (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Importantes fatores estão atrelados ao processo de adsorção, os quais envolvem a área superficial do adsorvente, temperatura, natureza do solvente, tempo de contato e o pH do meio (*Ibidem*).

A adsorção, em algumas situações, possibilita a recuperação dos corantes sem perda de sua identidade química (PERINI *et al.*, 2012). Diferentes fatores classificam o processo de adsorção (a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio), podendo ser quimissorção (ocorre união de moléculas ou átomos a superfície do novo adsorvente através de ligações químicas) ou fisissorção (ligação do adsorvato a interface envolve interações de Van der

Waalls). Os processos de separação por adsorção estão baseados nos mecanismos estérico, de equilíbrio e cinético (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A temperatura tem um importante efeito na constante de velocidade de adsorção, onde um aumento de temperatura pode acarretar em um aumento na energia cinética e na mobilidade das espécies do adsorvato levando a um aumento na taxa de adsorção (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004). O aumento da temperatura afeta também a solubilidade e o potencial químico do adsorvato (KHATTRI e SINGH, 1999). O pH do ponto de carga zero (pHPZC) é a faixa de pH na qual a superfície do novo adsorvente é positiva, acima deste valor é negativa. A importância deste controle se deve ao fato de que as cargas do adsorvato e do novo adsorvente precisam ser opostas para que haja uma maior interação eletrostática entre eles, uma vez que, cargas iguais causam repulsão eletrostática o que prejudica o processo de adsorção (AYRANCI; HODA; BAYRAM, 2005). O carvão ativado é um adsorvente extensamente utilizado devido ao seu baixo custo e sua grande área superficial (muito utilizado por exemplo na adsorção de moléculas orgânicas que causam sabor, odor e toxicidade), (LETTERMAN, 1999).

Estes adsorventes podem ser produzidos a partir de materiais naturais (madeira, turfa, carvão, lignite) ou resíduos agroindustriais (palha de milho, casca de coco, casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e de frutas). Essas matérias-primas são carbonizadas em atmosfera inerte e depois passam por um tratamento térmico e/ou químico para a ativação, que é a remoção de materiais que estejam obstruindo os poros. Uma vez obtida a granulometria desejada, a produção envolve, basicamente, a carbonização e ativação para a formação dos vazios internos. A carbonização ou pirólise é usualmente feita na ausência de ar, em temperaturas compreendidas entre 500-800 oC, enquanto a ativação pode ser realizada com gases oxidantes em temperaturas de 800 a 900 oC (BERNARDO *et al.*, 2009).

■ ADSORVENTES PROVENIENTES DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

A grande produção agroindustrial no Brasil, gera diversos resíduos, sendo que a disposição final destes resíduos pode se tornar um problema ambiental (INYANG *et al.* 2012). Desta forma, a utilização destes resíduos como adsorventes de poluentes se apresenta como uma prática atrativa, viável economicamente e com resultados promissores.

Os resíduos agroindustriais, apresentam como vantagem um menor custo, sendo altamente atrativos como adsorventes. Inúmeros estudos abordam o desenvolvimento e aplicação de desses adsorventes, descritos como substitutos do carvão ativado, devido a sua ampla utilização (GUPTA *et al.* 2000). Os adsorventes alternativos de baixo custo também são investigados para remoção de corantes (CRINI, 2006). Na Tabela 1, são expostos alguns

trabalhos de grande relevância, exibindo as propriedades de adsorção de alguns adsorventes alternativos de baixo custo aplicados para remoção de diferentes classes de corantes.

Tabela 1. Capacidade de adsorção, área superficial, tempo de contato e pH de diferentes adsorventes alternativos de baixo custo aplicados na remoção de corantes.

Adsorvente	Adsorbato	Área superficial do adsorvente	Capacidade de adsorção	Tempo de contato	pH	Referência
Casca de Cupuassu	Vermelho reativo 194 e azul direto 53	1,2 m ² g ⁻¹	64,1 e 37,5 mg g ⁻¹	8 e 18 h	2	Rodrigo Pinto (2011)
Folhas de bananeira	Azul de metileno	-	109,89 mg g ⁻¹	4 h	7	Hameed et al (2014)
Casca de arroz	Azul ácido (CI 73015)	352 m ² g ⁻¹	50 mg g ⁻¹	10 h	-	Mohamed (2004)
Serragem de madeira (crua)	Azul básico 69	-	71,9 mg g ⁻¹	8h	-	Ho and Mckay (1998a)
Casca de banana	Vermelho direto 28	20,6 – 23,5 m ² g ⁻¹	18,2 mg g ⁻¹	24 h	-	Annadurai et al (2002)
Casca de laranja	Vermelho direto 28	20,6–23,5 m ² g ⁻¹	14,0 mg g ⁻¹	24 h	-	-
Casca de amêndoa	Vermelho direto 80	10,5 m ² g ⁻¹	22,422 mg g ⁻¹	-	6	Doulati Ardejani et al (2008)
Casca de avelã	Azul básico 9	-	76,9 mg g ⁻¹	60 - 180 min	-	Ferrero (2009)
Casca de arroz	Vermelho básico 2 (C.I. 50240)	-	838 mg g ⁻¹	6 h	-	McKay et al (1999)
Carvão de casca de coco	Azul básico 9	-	277,9 mg g ⁻¹	90 min	7,2	Kannan and Sudaram (2001)
Cinzas da casca de arroz	Vermelho direto 28	236,4 m ² g ⁻¹	171 mg g ⁻¹	-	-	Chou et al (2001)
Maracujá amarelo	Azul básico 9	30 m ² g ⁻¹	44,7 mg g ⁻¹	48 h	8	Pavan et al (2008)

Fonte: Artigos dos Pesquisadores citados na Tabela.

Estes adsorventes podem ser aplicados em diversos processos de tratamento aquoso para a remoção de corantes, compostos orgânicos voláteis e metais pesados (DIAS *et al.* 2007). Na Figura 1 está esquematizada a proposta desta pesquisa, utilizando-se a casca de beterraba, o pó da casca de beterraba e o carvão obtido após calcinação e ativação. Posteriormente o carvão ativado da casca da beterraba foi investigado na adsorção do corante têxtil verde brilhante.

Figura 1. Representação esquemática do adsorvente CA sintetizado a partir da casca da beterraba e a coloração apresentada por um efluente têxtil, exibindo a forte coloração devido a presença de corantes não fixados as fibras têxteis no processo de tingimento.



Fonte: Dados da pesquisa (2022).

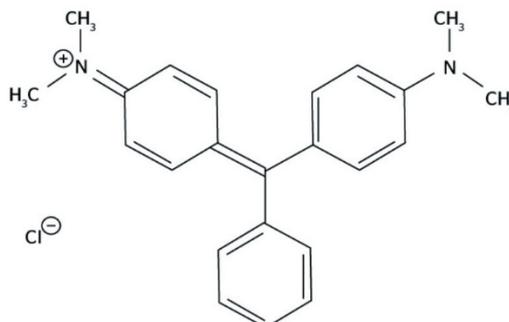
Os adsorventes alternativos de baixo custo são altamente eficientes no tratamento de águas residuais provenientes de indústrias têxteis. Muitos dos corantes utilizados nos processos de tingimento das fibras têxteis apresentam taxas de 50 a 70 % de não fixação as fibras com conseqüente descarte nos efluentes. Na busca de tratar resíduos de corantes em águas residuais e efluentes têxteis, a utilização de resíduos agroindustriais de baixo custo, se torna uma metodologia atrativa principalmente quando combinada a técnicas simples de aplicação.

■ MÉTODOS

Os experimentos de adsorção, utilizando-se o carvão ativado sintetizado a partir da casca de beterraba, foram realizados em batelada, utilizando-se concentrações de 0,5 ou 1,0 g de amostra de carvão ativado da casca de beterraba (CB). Alíquotas da solução de corante têxtil verde brilhante foram coletadas para medidas da concentração em intervalos de 10 minutos, até que o equilíbrio fosse atingido. A análise da concentração do corante têxtil verde brilhante na solução foi realizada no comprimento de onda de 660 nm em um espectrofotômetro UV-Visível. As amostras foram submetidas ao processo de adsorção utilizando-se soluções do corante têxtil verde brilhante em concentrações de 100 mg.L⁻¹ ou 150 mg.L⁻¹, as quais foram adicionadas em oito *erlenmeyers*, contendo 300 ml cada. As amostras tiveram seu pH inicial avaliado e foram submetidas a agitação por 5 minutos para total homogeneização das soluções. Após a agitação, alíquotas de 5 mL de foram sendo retiradas em intervalos de 10 minutos, para análise da absorbância. Na sequência, as alíquotas foram quantificadas mediante a leitura da absorbância em comprimento de onda selecionado de 660 nm no espectrofotômetro UV-visível.

Na Figura 2 está exposta a estrutura química do corante têxtil verde brilhante, utilizado no desenvolvimento deste trabalho. Na Tabela 2 são apresentados os dados obtidos da absorvância em função do tempo de tratamento das soluções do corante verde brilhante.

Figura 2. Estrutura química molecular do corante têxtil verde brilhante.



Fonte: Barroso et al., 2016.

Síntese do carvão ativado da casca da beterraba (CA)

Os resíduos da casa da beterraba foram coletados e secos a luz solar por cinco dias até completa remoção da umidade (confirmada pela realização de três pesagens consecutivas, sem alteração na pesagem). Após foi realizada a moagem em moinho de facas e depois foi submetido ao processo de peneiramento a fim de se obter homogeneidade no diâmetro das partículas. Posteriormente as amostras foram submetidas ao processo de carbonização onde as amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana e submetidas a carbonização em forno mufla por 1 h a 550 °C, com taxa de aquecimento de 15 °C min⁻¹, com fluxo de gás nitrogênio em uma vazão de 100 mL min⁻¹. Após o processo de carbonização as amostras foram submetidas à lavagem com uma solução de ácido clorídrico HCl a 2,5 % até pH próximo de 7. Após o processo de lavagem, 10g de cloreto de zinco foram adicionados a 10 g da amostra para impregnação, na relação 1:1 (ZnCl₂/resíduo) em agitação a 20°C por 1h para ativação química, em seguida as amostras foram colocadas na estufa a 100°C por 1h (RAMOS *et al.*, 2009; ROCHA *et al.*, 2012; DENG *et al.*, 2011).

Experimentos de Adsorção de corante têxtil

Para os experimentos de adsorção foram utilizados o corante têxtil verde brilhante (fórmula química C₂₃H₂₅ClN₂ (cloreto), de massa molar 364.911g/mol (nome IUPAC: 4-[(4-dimetilaminofenil)-fenil-metil]-N,N-dimetil-anilina), em concentrações de 100 mg L⁻¹ ou 150 mg L⁻¹ e massa de carvão ativado da casca de beterraba de 0,5 g ou 1,0 g. As amostras de soluções de corante verde brilhante apresentaram pH inicial de 6 medidos antes da submissão ao processo de adsorção. Posteriormente, foram adicionadas em erlenmeyers

a 25°C sob agitação constante. Alíquotas foram retiradas em intervalos de 10 min (durante 60 min), centrifugadas, filtradas e o filtrado analisado via espectrofotômetro UV-Visível Shimadzu. A partir dos valores de absorvância, obtidos das soluções do corante verde brilhante após o processo de adsorção com o carvão ativado produzido a partir da casca da beterraba, foram construídas as curvas e realizados os cálculos da eficiência do tratamento.

■ RESULTADOS

A partir da análise dos dados obtidos com o estudo da adsorção do corante têxtil verde brilhante utilizando-se o carvão ativado da casca da beterraba (CA) podemos destacar a alta eficiência do carvão ativado preparado neste estudo. O valor observado de absorvância após 20 minutos de tratamento foi de 67 % de redução da concentração para a amostra de CA 0,5 g em soluções de corante têxtil verde de 100 mg L⁻¹ e 56% de redução da concentração para a amostra de CA 1,0 g em soluções de corante têxtil verde de 100 mg L⁻¹, após 20 minutos de tratamento.

Após o tempo de 60 minutos de tratamento observou-se 91% de redução da concentração para a amostra de CA 0,5 g em soluções de corante têxtil verde de 100 mg L⁻¹ e 89% de redução da concentração para a amostra de CA 1,0 g em soluções de corante têxtil verde de 100 mg L⁻¹.

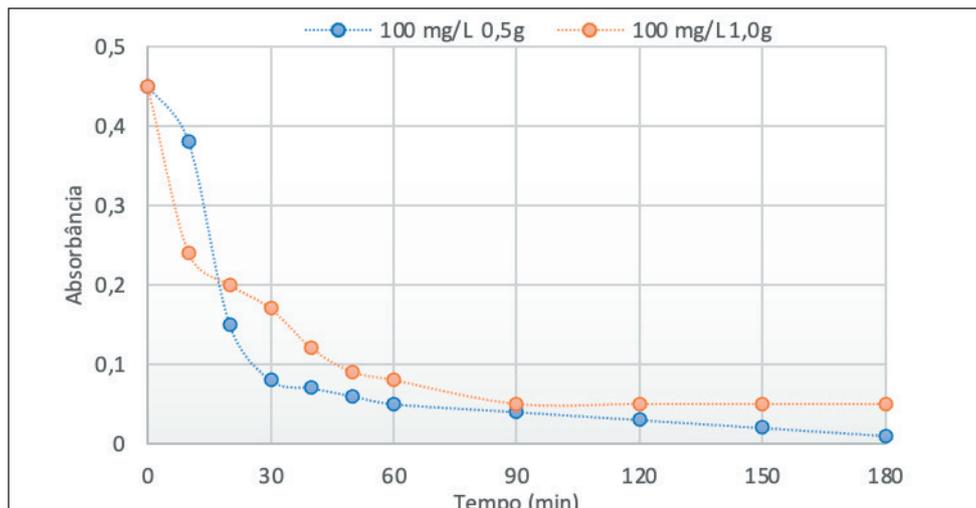
Os dados obtidos com o adsorvente da casca da beterraba utilizando-se as massas de 0,5 g e 1,0 g de carvão alterando a concentração de solução de corante verde brilhante para 100 mg L⁻¹ estão expostos na Tabela 2 e Figura 3.

Tabela 2. Tempo de tratamento e absorvâncias das soluções do corante têxtil verde brilhante submetidas ao processo de adsorção com o novo adsorvente de carvão ativado de casca de beterraba (CA)

Tempo de tratamento (min)	Absorvância (CA: 0,5 g /100 mgL ⁻¹)	Absorvância (CA:1,0 g /100 mgL ⁻¹)
0	0,45	0,45
10	0,38	0,24
20	0,15	0,20
30	0,08	0,17
40	0,07	0,12
50	0,06	0,09
60	0,05	0,08

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Figura 3. Gráfico obtido do processo de adsorção com CA 0,5 g e 1,0 g em solução do corante têxtil verde brilhante, concentração de 100 mg L⁻¹, exibindo a análise da absorvância em função do tempo.



Fonte: Dados da Pesquisa (2022)

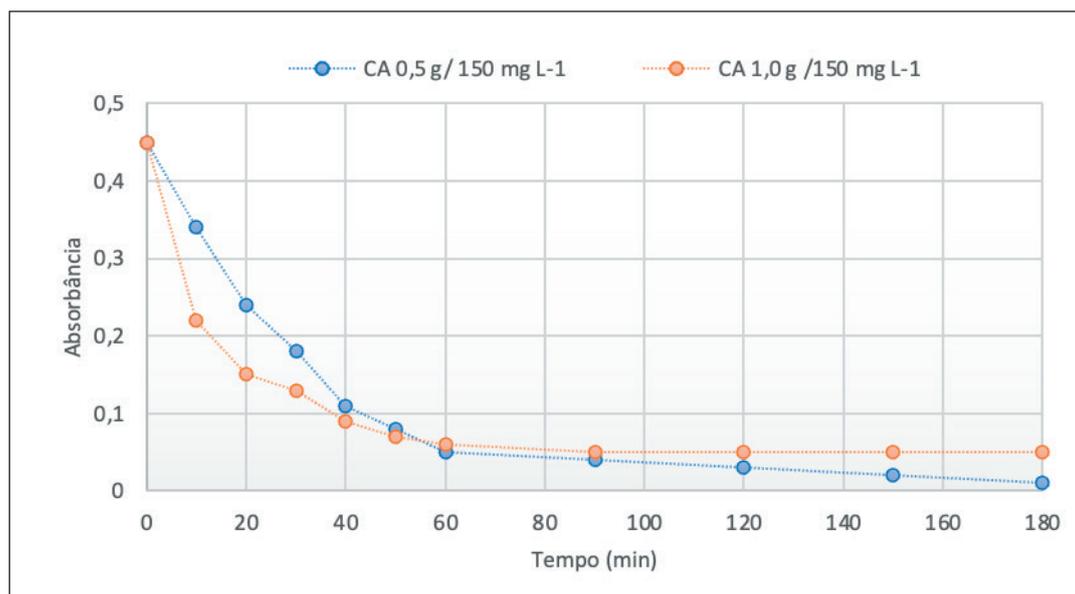
Foram realizados experimentos com o adsorvente da casca da beterraba mantendo as massas de 0,5 g e 1,0 g de carvão alterando a concentração de solução de corante verde brilhante para 150 mg L⁻¹. Os dados obtidos estão descritos na Tabela 3 e na Figura 4.

Tabela 3. Tempo de tratamento e absorvâncias das soluções do corante têxtil verde brilhante submetidas ao processo de adsorção com o novo adsorvente de carvão ativado de casca de beterraba (CA)

Tempo de tratamento (min)	Abs (CA: 0,5 g /150 mgL ⁻¹)	Abs (CA:1,0 g /150 mgL ⁻¹)
0	0,45	0,45
10	0,34	0,22
20	0,24	0,15
30	0,18	0,13
40	0,11	0,09
50	0,08	0,07
60	0,05	0,06

Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Figura 4. Gráfico obtido do processo de adsorção com CA 0,5 e 1,0 g em solução do corante têxtil verde brilhante, concentração de 150 mg L⁻¹ exibindo a análise da absorbância em função do tempo.



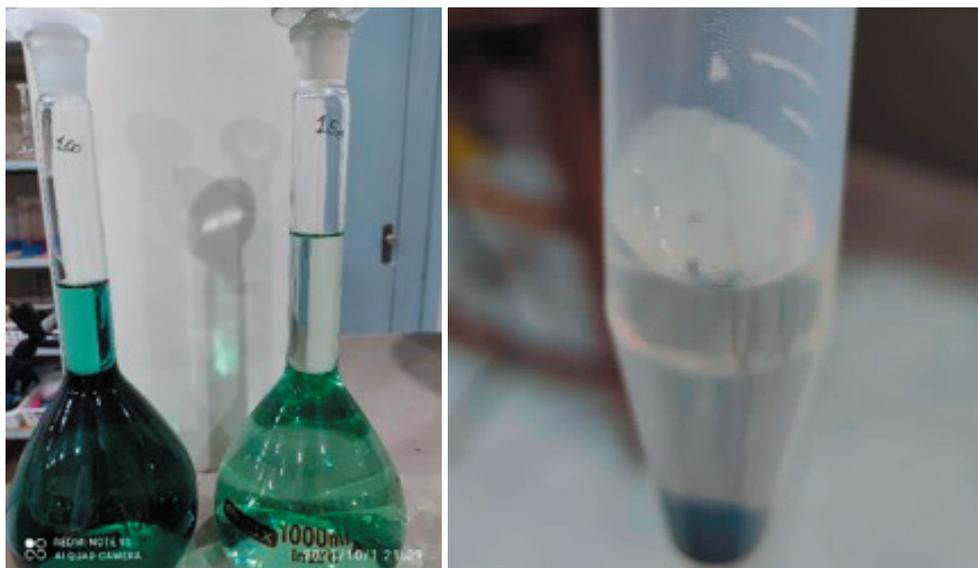
Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

Para as amostras utilizando-se soluções do corante têxtil verde em concentrações de 150 mg L⁻¹ e massas de CA de 0,5 e 1,0 g, observou-se reduções das concentrações de 47% e 67% respectivamente após 20 minutos de tratamento.

Com base nos resultados obtidos podemos concluir que menores quantidades mássicas de CA são mais eficientes no processo de adsorção do corante têxtil verde, a partir deste fato foram realizados experimentos com menores quantidades mássicas de CA para as soluções de corante têxtil verde. Nos novos experimentos realizados foram utilizados 0,250 g e 0,125g de CA para a solução de cortante têxtil verde na concentração de 100 mg L⁻¹ [concentração que exibiu maior eficiência na redução da concentração do corante têxtil verde (acima de 90%)]

Os resultados obtidos com o estudo da adsorção do corante têxtil verde brilhante utilizando-se o carvão ativado da casca da beterraba (CA) evidenciaram a alta eficiência do carvão CA preparado neste estudo. A Figura 5 apresenta o corante verde brilhante antes e após o tratamento evidenciando a remoção de cor.

Figura 5. a) Soluções do corante verde brilhante, nas concentrações 150 e 100 mg/L, respectivamente. b) Solução do corante verde brilhante, concentração de 150mg/L, após 60 minutos de tratamento



Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

■ CONCLUSÃO

Concluimos a partir dos dados obtidos neste estudo que o novo adsorvente preparado a partir da casca de beterraba (CA) exibiu alta eficiência no processo de adsorção do corante têxtil verde brilhante, exibindo percentuais de remoção do corante verde brilhante acima de 90 %. A partir dos resultados obtidos novos testes serão realizados para testar menores quantidades mássicas de casca de beterraba para as soluções de corante têxtil verde brilhante.

Desta forma pode-se classificar o material acima desenvolvido como um novo adsorvente alternativo de baixo custo com elevado potencial para remoção de corantes têxteis presentes em águas residuais e efluentes têxteis.

■ REFERÊNCIAS

1. Annadurai, G., Ling, L.Y., Lee, J.-F. Adsorption of reactive dye from an aqueous solution by chitosan: isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. *J. Hazard. Mater.* 152, **2008**, 337–346.
2. Ayranci, E. Hoda, N; Bayram, E. Kinetic and Equilibrium Studies on the Removal of Acid Dyes from Aqueous Solutions by Adsorption onto Activated Carbon Cloth. *Journal of Hazardous Materials*, 137, **2006**, 344-351.
3. Braga, B. et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2a ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, **2005**, 318.

4. Crini, G. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Prog. Polym. Sci.* 30, **2005**, 38–70.
5. Chou, K.S., Tsai, J.C., Lo, C.T. The adsorption of Congo red and vacuum pump oil by rice hull ash. *Bioresour. Technol.* 78, **2001**, 217–219.
6. Dengh, H. et al. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chemical Engineering Journal*, 172, **2011**, 326-334.
7. Dias, J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Almeida, M.F., Rivera-Utrilla, J., Sanchez-Polo, M. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous phase treatment: a review. *J. Environ. Manage.* 85, **2007**, 833–846.
8. Di Bernardo, L.; Di Bernardo, A. D. Wastewater Using Sugar Cane Dust as an Adsorbent. *Eng. Sanit. Ambient.* 11, Rio de Janeiro, **2006**.
9. Doulati, A. F. et al. Adsorption of Direct Red 80 dye from aqueous solution onto almond shells: effect of pH, initial concentration and shell type. *J. Hazard. Mater.* 151, **2008**, 730–737.
10. Ferrero, F. Dye removal by low cost adsorbents: hazelnut shells in comparison with wood sawdust. *J. Hazard. Mater.* 142, **2007**, 14.
11. Gupta, V.K.; Mohan, D.; Sharma, S.; Sharma, M. Removal of basic dyes (rhodamine B and methylene blue) from aqueous solutions using bagasse fly ash. *Sep. Sci. Technol.* 35, **2000**, 2097–2113.
12. Ho, Y.S.; McKay, G. Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by wood. *Process Saf. Environ. Prot.* 76, **1998**, 183–191.
13. Jimenez, R. S.; Bosco, S. M.; Carvalho, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita-influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química nova*, São Paulo, 27, **2004**, 734-738.
14. Kannan, N.; Sundaram, M. M. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons – a comparative study. *Dyes Pigments* 51, **2001**, 25–40.
15. Letterman, R.D. *Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies*. 5. ed. *Estados Unidos: McGraw-Hill*, **1999**, 1163 p.
16. Mohamed, M.M. Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk. *J. Colloid Interface Sci.* 272, **2004**, 28–34.
17. McKay, G., Porter, J.F., Prasad, G.R. The removal of dye colours from aqueous solutions by adsorption on low-cost materials. *Water, Air, Soil, Pollut.* 114, **1999**, 423–438.
18. Nascimento, R. F; Lima, A. C. A; Vidal, C. B; Melo, D. Q; Fortaleza, G. S. C. R. Adsorção aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, **2014**. 258.
19. Pavan, F.A.; Lima, E.C.; Dias, S.L.P.; Mazzocato, A.C. Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste. *J. Hazard. Mater.* 150, **2008**, 703–712.
20. Peixoto, F.; Marinho, G.; Rodrigues, K. Corantes Têxteis: uma revisão. *Holos*, Rio Grande do Norte, 5, **2016**, 98-106.

21. Perini, B. L.; Drews, J. L.; Cunha, S. K.; Krohl, D. R.; Sellin, N. Adsorção de Corantes de Efluente Têxtil por Resíduos da Bananicultura. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia, **2012**.
22. Queiroz, M. T. A.; Lima, L. R. P.; Alvim, L. B.; Leão, M. M. D.; Amorim, C. C. Gestão de Resíduos na Indústria Têxtil e sua Relação com a Qualidade da Água: Estudo de Caso. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, 15, **2016**, 114-135.
23. Rocha, O. R.S. *et al.* Avaliação do processo adsortivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. Química Nova, **2012**, 35, 1369-1374.
24. TOMASELLA, R. C.; OLIVEIRA, E. G.; ANGELIS, D. F.; GARCIA, M. L. Avaliação do potencial de compostos naturais (argila, turfa e carvão) na remoção de chumbo e toxicidade de um efluente industrial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, **2015**, 20, 251-258.

Efeito do uso do biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja no desenvolvimento de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson

| **Alessandra Maria Ferreira Reis**

Universidade Federal de Sergipe - UFS

| **Ricardo Marques Barreiros**

Universidade Estadual Paulista - UNESP

| **Cláudia Marques dos Santos Cordovil**

Universidade de Lisboa

| **Michelle Conceição Vanconcelos**

Universidade Federal de Sergipe - UFS

| **Elton Joneis Souza de Matos**

Universidade Federal de Sergipe - UFS

| **Gilmar Correia Silva**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

| **Cantídio Fernando Gouvea**

Universidade Federal de Sergipe - UFS

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do biocarvão resultante da pirólise da casca do coco e do bagaço de laranja no desenvolvimento de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson. Na produção das mudas foi utilizado substrato comercial, sendo adicionadas dosagens de 10, 25 e 50% do volume total de biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja, além do tratamento controle composto exclusivamente pelo substrato comercial. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. As mudas foram avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura. Os parâmetros utilizados nas avaliações foram a altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto na altura do substrato (DC), peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA), peso da matéria seca das raízes (PMSR), peso da matéria seca total (PMST), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e teor de clorofila (TC). A utilização do biocarvão da casca de coco foi significativamente superior ao biocarvão do bagaço da laranja em relação ao desenvolvimento das plantas. A proporção de 25% de biocarvão de casca de coco melhorou o crescimento e as características morfológicas das mudas. Em função do baixo desempenho nos parâmetros morfológicos das plantas, não recomenda-se a adição do biocarvão de bagaço de laranja ao substrato das mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson em proporções superiores a 10% do volume total.

Palavras-chave: Resíduos Agrícolas, Pirólise, Produção de Mudas, Biochar.

■ INTRODUÇÃO

As atividades agroindustriais em diversas regiões do mundo são responsáveis por gerar toneladas de resíduos orgânicos compostos de cascas, sementes, caroços e polpas, dependendo do tipo de fruta a ser processada, acarretando sérios problemas ambientais como a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas.

Os resíduos advindos dessas atividades apresentam, de maneira geral, grande concentração de material orgânico, e o seu lançamento em corpos hídricos ou diretamente no solo pode causar efeitos indesejáveis como o decréscimo na quantidade de oxigênio dissolvido, bem como elevação descontrolada de nutrientes no meio ambiente. Dessa forma, o consumo excessivo dos recursos naturais da terra e a elevada quantidade de resíduos produzidos pela evolução da tecnologia desenvolvida pelo homem vêm provocando danos irreparáveis ao ambiente.

As culturas da laranja e do coco destacam-se em função da elevada quantidade de resíduos gerados durante o processamento. A laranja, por sua vez, esteve entre as frutas mais consumidas no mundo, sendo que sua produção ultrapassou 66 milhões de ton/ano (MITTAL *et al.*, 2012). A industrialização do suco de laranja gera como resíduo: as sementes, a casca e o bagaço, que em geral são dispostos em aterros sanitários. Esses resíduos representam 50% do seu peso, com aproximadamente 82% de umidade (CORAZZA *et al.*, 2001). Da mesma forma, a cadeia produtiva do coco (*Cocos nucifera* L.) inicia-se na produção agrícola, passando pelo processamento para extração da polpa ou processamento da água de coco para o mercado consumidor. No entanto, cerca de 80 a 85% do peso bruto do coco verde é considerado resíduo e, sua alta umidade, cerca de 85%, bem como as características da fibra reduzem sua reutilização, sendo geralmente destinado aos aterros sanitários, com tempo médio de oito anos para a completa decomposição (CARRIJO *et al.*, 2002).

Um dos maiores desafios com que se defronta a sociedade moderna é o equacionamento da geração excessiva e da disposição final ambientalmente segura desses resíduos sólidos. A preocupação mundial em relação aos resíduos sólidos tem aumentado em decorrência do crescimento da produção, do gerenciamento inadequado e da carência de áreas de disposição final.

Uma alternativa para reutilizar os resíduos da casca de coco e bagaço de laranja pode ser a produção de biocarvão. O biocarvão é um produto rico em carbono, obtido quando uma biomassa ou material orgânico sofre decomposição térmica sob fornecimento limitado de oxigênio. Este produto tem sido utilizado para diferentes finalidades, como condicionador de solo com aumento de produtividade (HALL & BELL, 2015), redutor dos custos de fertilizantes e também como redutor de impactos ambientais no solo e na água (LAIRD *et al.*, 2009), mitigando as mudanças climáticas através do sequestro de carbono e redução de

gases de efeito estufa (AGARWAL *et al.*, 2014), recuperação de áreas contaminadas (PAZ-FERREIRO *et al.*, 2014), tratamento de água e esgoto (TAN *et al.*, 2015) e compostagem (SÁNCHEZ-GARCIA *et al.*, 2015).

Entretanto, poucos estudos têm sido realizados para avaliar o uso do biocarvão na produção de mudas de espécies florestais. Considerando que os componentes utilizados no substrato influenciam diretamente o ciclo de crescimento, a qualidade e, conseqüentemente, o custo de produção das mudas, o uso do biocarvão, como parte do substrato na produção de mudas de espécies florestais, poderá se tornar uma prática economicamente e ambientalmente favorável.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja adicionadas ao substrato no desenvolvimento e nos parâmetros morfológicos de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura.

■ METODOLOGIA

Coleta da matéria-prima e produção do biocarvão

As cascas de coco foram adquiridas em uma propriedade rural localizada no município de Japoatã-SE, Brasil. O bagaço de laranja foi obtido através da coleta diária nas lanchonetes do Campus da Universidade Federal de Sergipe - UFS, em São Cristóvão-SE, Brasil.

Os resíduos foram secos ao ar livre, durante 8 dias, para redução do teor de umidade antes da carbonização, a qual foi realizada em um reator artesanal do tipo TLUD (*Top-Lid Updraft Gasifier*), desenvolvido pela *International Biochar Initiative - IBI* (NSAMBA, 2015), com temperatura variando entre 450 e 600 °C. O tempo de retenção foi de 40 minutos para as cascas de coco e bagaço de laranja. Posteriormente, os biocarvões foram triturados e peneirados em malha de 2 mm.

Amostras dos biocarvões foram enviadas ao Laboratório Multiusuário do Núcleo de Petróleo e Gás da UFS, onde foram realizadas análise elementar e aproximada, porosidade, área superficial específica, imagens da estrutura, grupos funcionais, concentrações de P, K, Na e Cu, pH e CE.

Caracterização do substrato e instalação do experimento

O substrato comercial “Carolina Padrão”, fabricado pela *Carolina Soil Company*, foi utilizado no estudo, sendo adicionadas dosagens de 10, 25 e 50% do volume total de biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja. O substrato Carolina Padrão é usualmente utilizado na

produção de mudas de espécies florestais e apresenta em sua composição turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante N, P, K (traços). Esse substrato apresenta potencial hidrogeniônico (pH): $5,5 \pm 0,5$; condutividade elétrica (CE): $0,7 \pm 0,3$ mS/cm; densidade: 145 kg/m^3 ; capacidade de retenção de água (CRA -10): 55% e umidade máxima de 50%.

No experimento, foram avaliados um tratamento controle (T1) com 100% do substrato comercial e seis tratamentos com diferentes proporções de biocarvão, sendo eles: T2, 10% de biocarvão de casca de coco e 90% de substrato comercial; T3, 25% de biocarvão de casca de coco e 75% de substrato comercial; T4, 50% de biocarvão de casca de coco e 50% de substrato comercial; T5, 10% de biocarvão de bagaço de laranja e 90% de substrato comercial; T6, 25% de biocarvão de bagaço de laranja e 75% de substrato comercial; T7, 50% de biocarvão de bagaço de laranja e 50% de substrato comercial. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

O estudo foi desenvolvido no Viveiro Florestal da Universidade Federal de Sergipe. O clima, de acordo com a classificação de Thornthwaite, é do tipo C2sA'a', subúmido com déficit de água no verão. O período chuvoso ocorre entre os meses de abril e agosto, a temperatura média na região é de $24,85 \text{ }^\circ\text{C}$ e a precipitação média anual é de $1576,30 \text{ mm}$.

As sementes de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson (*Eucalyptus citriodora* Hook) foram adquiridas no Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), localizado na cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. A semeadura foi efetuada diretamente em tubetes cônicos de plástico rígido com capacidade de 50 cm^3 , sendo colocadas três sementes por embalagem.

Os tubetes contendo as três sementes foram dispostos em local com sombreamento de 50%, por um período de dez dias, até a completa germinação das sementes. Decorrido o tempo de germinação, as mudas foram transferidas para pleno sol.

O processo de raleio, que refere-se à seleção da plântula mais central e vigorosa, foi realizado à sombra e quando as plântulas apresentaram altura entre 2,5 e 3,0 cm. O arranque das duas plântulas excedentes foi realizado após irrigação do substrato, de modo a torná-lo o mais solto possível, evitando danificar a plântula selecionada.

O procedimento de intercalação das mudas foi adotado, com ocupação de 50% da área de cada bandeja, permitindo melhor aeração entre as mudas, reduzindo o risco de contaminação com fungos patogênicos e possibilitando melhor irrigação, aplicação de adubos e insolação das mudas.

A irrigação das mudas foi realizada três vezes ao dia durante todo período experimental.

Imediatamente após a fase de germinação, foram realizadas 8 adubações de arranque, intercaladas a cada 3 dias, visando manter a quantidade necessária de nutrientes disponível

no substrato. Essa adubação foi composta por sulfato de amônio (0,3 g/L de água), superfosfato simples (4,6 g/L de água), cloreto de potássio (2,1 g/L de água) e FTE* BR 10 (0,5 g/L de água).

Após as adubações de arranque, foram iniciadas as adubações de crescimento, intercaladas a cada 3 dias até a muda completar 90 dias. Essa adubação foi composta por ureia (8,0 g/L de água), superfosfato simples (6,0 g/L de água), cloreto de potássio (6,0 g/L de água) e FTE* BR 10 (0,5 g/L de água). As aplicações foram realizadas ao entardecer e as mudas foram irrigadas imediatamente após a adubação para lavagem da parte aérea, evitando a queima das folhas pelo adubo.

As mudas foram avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura. Os parâmetros utilizados nas avaliações foram a altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto na altura do substrato (DC), peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA), peso da matéria seca das raízes (PMSR), peso da matéria seca total (PMST), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e teor de clorofila (TC).

A altura (H), em centímetros, foi determinada com uma régua milimétrica a partir do nível do substrato até a extremidade da folha mais alta e o diâmetro do coleto (DC), em milímetros, foi determinado ao nível do substrato com um paquímetro de precisão. As determinações de PMSPA e PMSR, em gramas, foram efetuadas a partir do material seco em estufa a 75 °C, por 72 horas. O PMST, em gramas, foi obtido pela soma entre PMSPA e PMSR.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON *et al*, 1960) foi determinado em função dos parâmetros H, DC, PMSPA, PMSR e PMST de acordo com a seguinte fórmula:

$$IQD = PMST / (H/DC + PMSPA/PMSR)$$

O teor de clorofila (TC) foi determinado utilizando o medidor portátil de clorofila *SPADmeter*.

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância para verificação dos efeitos significativos e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), utilizando o programa estatístico *Sisvar* (FERREIRA, 2008).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização dos biocarvões encontram-se disponibilizados na Tabela 1.

Tabela 1. Características do biocarvão de casca de coco (BCC) e de bagaço de laranja (BBL).

	Área superficial (m ² g ⁻¹)	Volume de poros (cm ³ g ⁻¹)	Diâmetro de poros (nm)	Eficiência (%)	Umidade (%)	Matéria volátil (%)	Cinza (%)	C fixo (%)	C total (%)	N (%)	H (%)
BCC	122,14	112,4	291,13	45	8,20	36,99	8,97	54,04	60,47	9,93	2,96
BBL	99,15	87,80	175,07	34,03	7,555	41,63	9,748	48,51	62,28	11,83	3,63

	O + S (%)	P (%)	K (%)	Na (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	C/N	O/C	H/C	(O+N)/C	FC/(FC+VM)	PH	CE (mS m ⁻¹ , 25°C)
BCC	26,64	0,02	1,60	523	0,49	6,08	0,44	0,05	0,60	0,59	10,55	3,14
BBL	22,26	0,52	3,67	162	0,15	5,26	0,35	0,05	0,54	0,53	10,03	2,75

A aplicação de biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja teve impacto significativo ($P < 0,05$) no diâmetro do coleto e altura das mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson nos três períodos avaliados (Tabela 2), bem como na massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST) e Índice da Qualidade de Dickson (IQD) (Tabela 3). Entretanto, o teor de clorofila (TC) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

TABELA 2. Quadrados médios para diâmetro do coleto (DC) e altura das mudas (H) de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson tratadas com biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja aos 30, 60 e 90 dias após semeadura.

Fator de variação	GL	DC30	H30	DC60	H60	DC90	H90
Biocarvão (B)	1	0,203*	52,275*	5,128*	202,457*	5,216*	142,383*
Doses (D)	3	0,128*	9,465*	1,342*	45,088*	1,012*	34,955*
(B) x (D)	3	0,079*	7,443*	1,306*	55,932*	1,603*	35,834*
C.V. (%)		13,45	19,58	8,25	12,69	14,85	12,79

Em que: * Significante a 5% de probabilidade; GL: Graus de Liberdade.

TABELA 3. Quadrados médios para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e teor de clorofila (TC) das mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson tratadas com biocarvão de casca de coco e bagaço de laranja aos 90 dias após semeadura.

Fator de variação	GL	MSPA	MSR	MST	IQD	TC
Biocarvão (B)	1	1,476*	0,210*	2,798*	0,030*	17,405
Doses (D)	3	0,361*	0,079*	0,772*	0,008*	16,851
(B) x (D)	3	0,338*	0,046*	0,632*	0,007*	7,214
C.V. (%)		15,73	17,24	16,68	16,16	12,70

Em que: * Significante a 5% de probabilidade; GL: Graus de Liberdade.

O biocarvão de casca de coco foi significativamente superior em todas as variáveis analisadas, como diâmetro do coleto e altura da planta aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total e Índice de Qualidade de Dickson, proporcionando ganhos de 18,8%, 32,6%, 34,8%, 29,3%, 25,5%, 17,7%, 43,4%, 41,0%, 39,0% e 42,9%, respectivamente, em relação ao biocarvão de casca de laranja.

Trinta dias após a semeadura, o Tratamento 1 (0% de biocarvão) e o Tratamento 3 (25% de biocarvão de casca de coco) apresentaram diferença significativa em relação aos Tratamentos 2 e 4 (10% e 50% de biocarvão de casca de coco) no parâmetro diâmetro

do coleto (Figura 1A), e foram em média 13,8 e 18,5% superiores aos Tratamentos 2 e 4, respectivamente.

Aos sessenta dias após a semeadura, os Tratamentos 1, 2 e 3 (0, 10 e 25% de biocarvão de casca de coco) foram estatisticamente diferentes e superiores ao T4 (50% de biocarvão de casca de coco) em 8,66%, 9,73% e 13,35%, respectivamente (Figura 1B).

Aos 90 dias após a semeadura, não houve diferença significativa entre os tratamentos com biocarvão de casca de coco em relação ao diâmetro do coleto (Figura 1C).

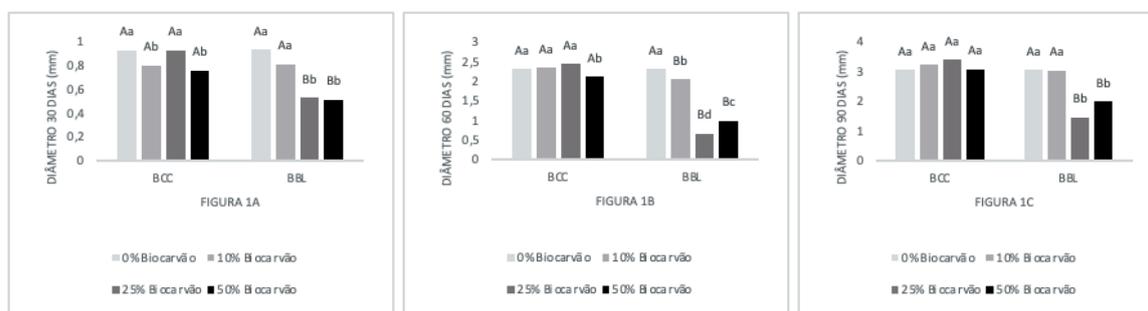
Nas análises realizadas com o biocarvão de bagaço de laranja foi possível observar que aos trinta dias após a semeadura, o Tratamento 1 (0% de biocarvão) e o tratamento 5 (10% de biocarvão de casca de laranja) apresentaram diferença significativa em relação aos Tratamentos 6 e 7 (25% e 50% de biocarvão de casca de laranja), no parâmetro diâmetro do coleto (Figura 1A), e foram em média 44,3 e 35,7% superiores aos Tratamentos 6 e 7, respectivamente.

Aos sessenta dias após a semeadura, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, sendo que T1 foi superior aos Tratamentos T5, T6 e T7, em 11,6%, 71,5% e 57,6%, respectivamente (Figura 1B).

Aos 90 dias após a semeadura, o Tratamento 1 (0% de biocarvão) e o Tratamento 5 (10% de biocarvão de casca de laranja) foram estatisticamente diferentes e superiores aos Tratamentos 6 e 7 (25 e 50% de biocarvão de casca de laranja), em relação ao diâmetro do coleto (Figura 1C).

Os Tratamentos 1 e 5 foram superiores em média 52,4% ao Tratamento 6 e 34,6% ao Tratamento 7.

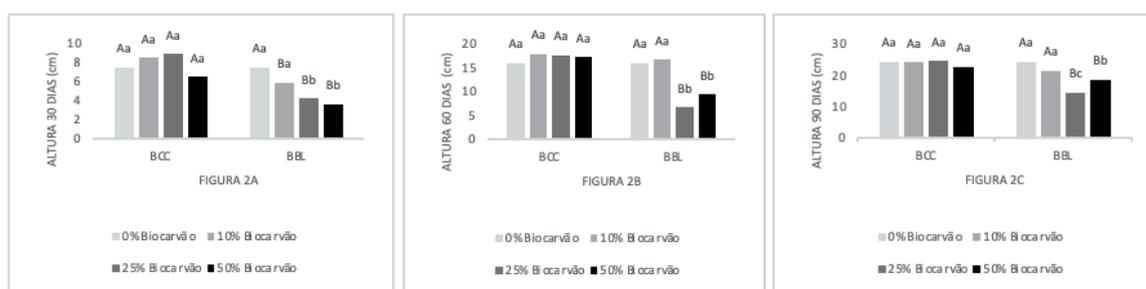
FIGURA 1. Diâmetro do coleto das mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson tratadas com diferentes proporções (0, 10, 25 e 50%) de biocarvão de casca de coco (BCC) e biocarvão de bagaço de laranja (BBL) aplicadas ao substrato comercial, avaliado aos 30 (Figura 1A), 60 (Figura 1B) e 90 dias (Figura 1C) após a semeadura.



Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de uma mesma proporção entre BCC e BBL. Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de um mesmo biocarvão.

No parâmetro altura das mudas aos 30, 60 e 90 dias após semeadura, não houve diferença significativa entre os tratamentos com adição de biocarvão de casca de coco (Figuras 2A, 2B e 2C).

FIGURA 2. Altura das mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson tratadas com diferentes proporções (0, 10, 25 e 50%) de biocarvão de casca de coco (BCC) e biocarvão de bagaço de laranja (BBL) aplicadas ao substrato comercial, avaliada aos 30 (Figura 2A), 60 (Figura 2B) e 90 dias (Figura 2C) após a semeadura.



Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de uma mesma proporção entre BCC e BBL. Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de um mesmo biocarvão.

Nas análises realizadas com o biocarvão de bagaço de laranja, foi possível observar que aos trinta dias após a semeadura, o Tratamento 1 (0% de biocarvão) e o Tratamento 5 (10% de biocarvão de casca de laranja) foram significativamente diferentes dos Tratamentos 6 e 7 (25% e 50% de biocarvão de casca de laranja), em relação ao parâmetro altura das mudas (Figura 2A), com valores médios superiores de 43,8 e 52,2% do Tratamento 1 em relação aos Tratamentos 6 e 7, respectivamente; e 28,5 e 39,1% do Tratamento 5 em relação aos Tratamentos 6 e 7, respectivamente.

Aos sessenta dias após a semeadura, o Tratamento 1 (0% de biocarvão) e o Tratamento 5 (10% de biocarvão de casca de laranja) apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos com proporções mais elevadas de biocarvão (T6 = 25% e T7 = 50% de biocarvão de casca de laranja) (Figura 2B), e foram em média 59,5 e 42,8% superiores aos Tratamentos 6 e 7, respectivamente.

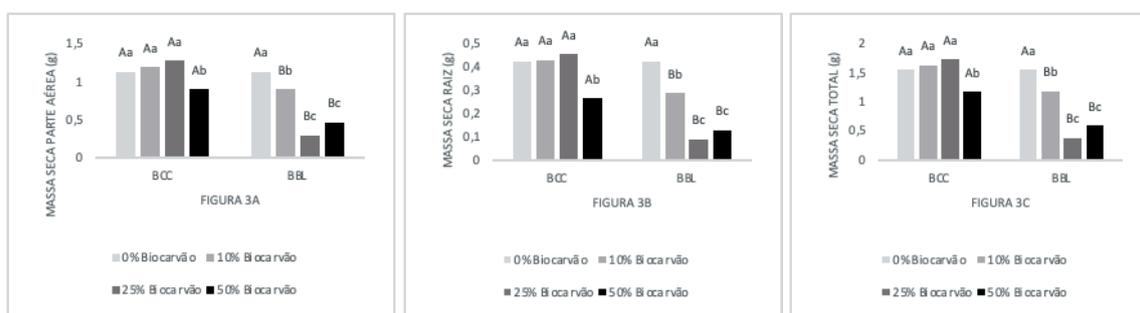
Aos 90 dias após a semeadura, o Tratamento 1 (0% de biocarvão) e o Tratamento 5 (10% de biocarvão de casca de laranja) foram significativamente diferentes aos Tratamentos 6 e 7 (25% e 50% de biocarvão de casca de laranja), em relação ao parâmetro altura das mudas. O Tratamento 1 foi superior 40,1 e 23,1% em relação aos Tratamentos 6 e 7, enquanto o Tratamento 5 apresentou valores superiores de 32,2 e 12,9% em relação aos Tratamentos 6 e 7, respectivamente. Entretanto, os Tratamentos 6 e 7 apresentaram diferença estatística significativa, sendo o T7 superior em 22,1% ao T6 (Figura 2C).

As médias dos valores de massa seca da parte aérea - MSPA (Figura 3A), massa seca das raízes - MSR (Figura 3B) e massa seca total - MST (Figura 3C) não apresentaram

diferença estatística significativa entre T1, T2 e T3 (0, 10 e 25% de biocarvão de casca de coco, respectivamente); entretanto, esses tratamentos foram superiores e apresentaram diferença significativa em relação ao T4 (50% de biocarvão de casca de coco).

Em relação à MSPA, os Tratamentos 1, 2 e 3 foram superiores ao Tratamento 4 em 20,3%, 24,4% e 29,3%, respectivamente. No parâmetro MSR, as médias desses tratamentos foram superiores à média do Tratamento 4 em 37,3%, 38,4% e 41,9%, respectivamente. Em relação à MST, os Tratamentos 1, 2 e 3 apresentaram valores médios superiores em 24,9%, 28,1% e 32,6%, respectivamente, em relação ao T4.

FIGURA 3. Massa seca da parte aérea (Figura 3A), massa seca das raízes (Figura 3B) e massa seca total (Figura 3C) de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson, aos 90 dias após semeadura, tratadas com diferentes proporções (0, 10, 25 e 50%) de biocarvão de casca de coco (BCC) e biocarvão de bagaço de laranja (BBL) aplicadas ao substrato comercial.



Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de uma mesma proporção entre BCC e BBL. Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de um mesmo biocarvão.

Nos tratamentos com biocarvão de bagaço de laranja, os valores médios de MSPA (Figura 3A), MSR (Figura 3B) e MST (Figura 3C) apresentaram diferença estatística significativa, sendo que o Tratamento 1 foi superior ao Tratamento 5 que, por sua vez, foi superior aos Tratamentos 6 e 7, e estes dois últimos não apresentaram diferença significativa entre suas médias.

No parâmetro MSPA, o Tratamento 1 foi superior ao Tratamento 5 em 20,7% que, por sua vez, foi superior aos Tratamentos 6 e 7 em 67,6 e 48,8%, respectivamente. O Tratamento 1 apresentou valor médio de MSPA superior aos Tratamentos 6 e 7 em 74,3 e 59,4%, respectivamente.

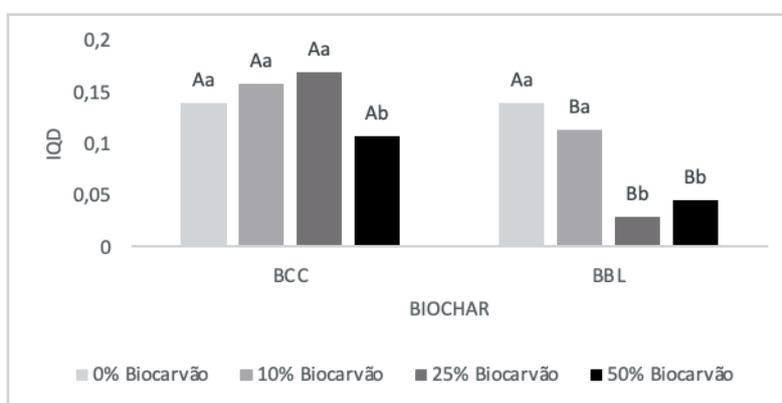
Em relação aos valores médios de MSR, o Tratamento 1 foi superior ao Tratamento 5 em 31,9% que, por sua vez, foi superior aos Tratamentos 6 e 7 em 69,7 e 56,2%, respectivamente. O Tratamento 1 apresentou valor médio de MSR superior aos Tratamentos 6 e 7 em 79,4 e 70,2%, respectivamente.

No parâmetro MST, o Tratamento 1 foi superior ao Tratamento 5 em 23,8% que, por sua vez, foi superior aos Tratamentos 6 e 7 em 68,1 e 50,6%, respectivamente. O Tratamento

1 apresentou valor médio de MST superior aos Tratamentos 6 e 7 em 75,7 e 62,3%, respectivamente.

Os valores médios do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Figura 4), que é um dos indicadores para selecionar o melhor padrão de mudas florestais, não apresentaram diferença estatística significativa entre T1, T2 e T3 (0, 10 e 25% de biocarvão de casca de coco, respectivamente); entretanto, esses Tratamentos foram superiores e apresentaram diferença estatística significativa em relação ao T4 (50% de biocarvão de casca de coco). O Tratamento 3 apresentou valores de IQD 20,8%, 6,8% e 57,5% superiores aos Tratamentos 1, 2 e 4, respectivamente; demonstrando ser a proporção com maior viabilidade na utilização como aditivo e condicionador do substrato.

FIGURA 4. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson tratadas com diferentes proporções (0, 10, 25 e 50%) de biocarvão de casca de coco (BCC) e biocarvão de bagaço de laranja (BBL) aplicadas ao substrato comercial.



Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de uma mesma proporção entre BCC e BBL. Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de um mesmo biocarvão.

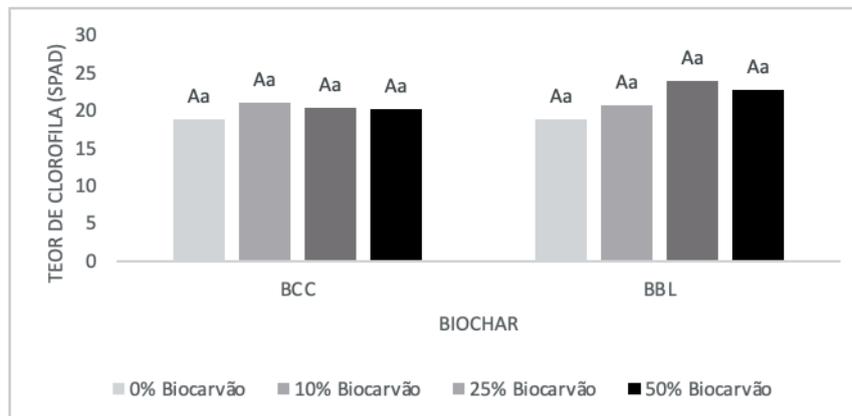
Em relação ao biocarvão de bagaço de laranja, os valores médios de IQD dos Tratamentos 1 e 5 (0 e 10% de biocarvão de bagaço de laranja, respectivamente) não apresentaram diferença estatística significativa entre si; entretanto, foram superiores aos valores observados nos Tratamentos 6 e 7 (25 e 50% de biocarvão de bagaço de laranja, respectivamente). O Tratamento 1 apresentou valores de IQD 79,4% e 68,1% superiores aos Tratamentos 6 e 7, respectivamente. O Tratamento 5 apresentou valores de IQD 74,8% e 60,9% superiores aos Tratamentos 6 e 7, respectivamente; demonstrando dessa forma que, entre as proporções de BBL estudadas, a proporção de 10% apresentou maior viabilidade de utilização como aditivo e condicionador do substrato.

Esses resultados foram superiores aos observados por Petter *et al.* (2012), que estudaram o desenvolvimento de mudas de eucalipto com a adição de biocarvão oriundo da fitofisionomia cerrado ao substrato comercial Germinar®. Os autores concluíram que a

adição de 7,5% de biocarvão promoveu o desenvolvimento de mudas de eucalipto de melhor qualidade, enquanto que, doses acima de 15% proporcionaram redução na qualidade das mudas de eucalipto.

Em relação ao teor de clorofila (TC) observado aos 90 dias após semeadura, não houve diferença significativa entre os biocarvões e nem tão pouco entre os tratamentos, com valores compreendidos entre 18,7 SPAD no tratamento sem biocarvão e 23,8 SPAD no tratamento T6 com 25% de biocarvão de casca de laranja (Figura 5).

FIGURA 5. Teor de clorofila (TC) nas folhas de mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson, aos 90 dias após a semeadura, tratadas com diferentes proporções (0, 10, 25 e 50%) de biocarvão de casca de coco (BCC) e biocarvão de bagaço de laranja (BBL) aplicadas ao substrato comercial.



Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de uma mesma proporção entre BCC e BBL. Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre as médias dos tratamentos dentro de um mesmo biocarvão.

De acordo com os valores encontrados, a presença de biocarvão no substrato das mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson não apresentou efeito negativo sobre o teor de clorofila (TC) das plantas.

■ CONCLUSÃO

No desenvolvimento das plantas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson, a utilização do biocarvão da casca de coco como parte do substrato para produção de mudas foi significativamente superior ao biocarvão do bagaço da laranja.

A proporção de 25% de biocarvão de casca de coco adicionada ao substrato comercial melhorou o crescimento e as características morfológicas das mudas, sendo recomendado como aditivo e condicionador do solo.

Não é recomendada a adição do biocarvão de bagaço de laranja ao substrato das mudas de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson em proporções superiores a 10% do volume total, em função do baixo desempenho nos parâmetros morfológicos das plantas.

■ REFERÊNCIAS

1. ATES, F.; IŞIKDAG, M. A. Evaluation of the role of the pyrolysis temperature in straw biomass samples and characterization of the oils by GC/MS. **Energy & Fuels**, v. 22, n. 3, p. 1936-1943, 2008.
2. AGARWAL, T.; NEMA, P. K.; PARMAR, A. Biochar production from agro-food industry residues: a sustainable approach for soil and environmental management. **Current Science**, v.107, n. 10, p. 1673-1682, 2014.
3. BARNARD R. O.; BUYS A. J.; COETZEE J. G. K.; Du PREES. **Handbook of standard soil testing methods for advisory purposes SASEX**, Mount Edgecombe, South Africa, 1990. 132 p.
4. CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fiber of green coconut shell as an agricultural substrate. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.
5. CORAZZA, M.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparation and characterization of orange wine. **Química Nova**, v. 24, n. 4, p. 449-452, 2001.
6. DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **For. Chron.**, v. 36, p. 10-13, 1960.
7. GASKIN, J. W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **Trans. Asabe**, v. 51, n. 6, p. 2061-2069, 2008.
8. HALL, D. J. M.; BELL, R. W. Biochar and compost increase crop yields but the effect is short term on sandplain soils of Western Australia. **Pedosphere**, v. 25, n. 5, p. 720-728, 2015.
9. HSU, H. P. **Análise de Fourier**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1973. 274 p.
10. KUILA, U.; PRASAD, M. Specific surface area and pore-size distribution in clays and shales. **Geophysical Prospecting**, v. 61, n. 2, p. 341-362, 2013.
11. LAIRD, D. A.; BROWN, R. C.; AMONETTE, J. E.; LEHMANN, J. Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 3, n. 5, p. 547-562, 2009.
12. NSAMBA, H. Designing and Performance Evaluation of Biochar Production in a Top-Lit Updraft Up-scaled Gasifier. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, United States, v. 5, p. 41-55, abr. 2015.
13. PAZ-FERREIRO, J.; LU, H.; FU, S.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. **Solid Earth**, v. 5, n. 1, p. 65-75, 2014.
14. PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MARIMON JUNIOR, B. H.; GONÇALVES, L. G.; SCHOSSLER, T. R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 4, p. 44-51, 2012.

15. RAJCOVICH , S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A. R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochar with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 3, p. 271-284, 2012.
16. SÁNCHEZ-GARCIA, M.; ALBUQUERQUE, J. A.; SÁNCHEZ-MONEDERO, A.; ROING, A.; CAYUELA, M. L. Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralization during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. **Bioresource Technology**, v. 192, p. 272-279, 2015.
17. SILVA, F. C. Da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2ª ed, 2009. 627 p.
18. TAN, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; WANG, X.; HU, X.; GU, Y.; YANG, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 125, p. 70-85, 2015.
19. USDA – United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Citrus: World Markets and Trade**. P. 1-11, 2018.

Estudo do potencial da fibra do *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng. Para a produção de papel

| **Ingrid da Silva Almeida**

Universidade Federal do Pará

| **Nataly Matos da Silva**

Universidade Federal do Pará

| **Kelvin Techera Barbosa**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

| **Silvia Helena Fuentes da Silva**

Universidade Federal de Pelotas

| **Alisson Rodrigo Souza Reis**

Universidade Federal do Pará

| **Simone Patrícia Aranha da Paz**

Universidade Federal do Pará

| **Darci Alberto Gatto**

Universidade Federal de Pelotas

| **Patrícia Soares Bilhalva dos Santos**

Universidade Federal de Pelotas

RESUMO

Objetivo: O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o potencial das fibras do epicarpo do fruto de coco babaçu (*Attalea speciosa*) para a produção de papel. **Métodos:** Foram avaliados os índices de qualidade da fibra para celulose e papel (Fração de Parede, Índice de Runkel, Flexibilidade, Rigidez e Fator forma de Luce) foram calculados a partir dos valores médios da morfologia das fibras. Foram realizadas a análise química imediata das fibras de acordo com as normas TAPPI e por espectroscopia de infravermelho (NIR). Analisou-se ainda o rendimento das fibras cozidas com mesocarpo e sem mesocarpo em diferentes soluções de NaOH (10%, 15%, 20%), e ainda quatro diferentes tipos de branqueamento das fibras. As medições das fibras e os índices de qualidade indicaram que as fibras são flexíveis, podendo apresentar um papel resistente e acabamento rugoso. **Resultados:** As análises químicas indicam valores regulares para a maioria dos testes, apresentando alto teor de lignina, explicado pelo NIR devido presença de mesocarpo no material analisado. As fibras cozidas com (10%, 15%, 20% de NaOH) sem o mesocarpo demonstraram rendimentos superiores (73,3%, 71,7% e 71,6 %, respectivamente) quando comparado com a fibra com mesocarpo (48,9%, 47,9%, 46%, respectivamente) e com o Eucalipto. **Conclusão:** Observou-se um rendimento superior para uma menor quantidade de reagente (10% de NaOH) devido à maior degradação da fibra com aumento da carga álcali. Para os branqueamentos foi possível identificar que o tratamento 5% de NaOH e 16 % de peróxido de hidrogênio, demonstrou melhores rendimentos. Foi possível concluir que a fibra de coco babaçu tem características satisfatórias para a produção de papel com maior resistência (papelão, papel cartão, entre outros).

Palavras-chave: Fibras Naturais, Coco Babaçu, Análise Química, Polpa Celulósica.

■ INTRODUÇÃO

O setor de papel e celulose contribui de forma relevante para o desenvolvimento do Brasil, estima-se que foram gerados cerca de 1.569.883 empregos diretos e indiretos no setor de papel e celulose em 2012 (CAGED, 2012). As exportações de celulose chegaram a somar cerca de 4,7 bilhões de dólares e as exportações de papel alcançaram, aproximadamente, 2 bilhões de dólares (ABRAF, 2013). No ano de 2016 o país ficou em 2º lugar no ranking dos maiores produtores de celulose do mundo e 8º colocado em produção de papel (IBÁ, 2017). Atualmente o país conta com uma área de 9 milhões de hectares de árvores plantadas, sendo 35% pertencentes a empresas do segmento de celulose e papel, gerando uma produção de 19,7 milhões de toneladas, consolidando o Brasil como o segundo maior produtor mundial (IBA, 2020).

A produção desse setor alcançou cerca de 19,49 mil toneladas, sendo 13 mil toneladas para exportação, enquanto para o papel uma produção de 10,47 mil toneladas, destas 2,11 mil toneladas foram exportadas (DEPEC, 2019).

Tradicionalmente tem se utilizado para a produção de celulose e papel, espécies exóticas como eucaliptos e Pinus. No entanto, a procura por recursos e matérias primas menos agressivas ao meio ambiente tem sido impulsionada devido à crescente preocupação com o meio ambiente. Com isso a utilização de fibras vegetais para a produção de papel e celulose tem sido uma alternativa, por ser um material renovável, biodegradável e de baixo custo (CARDOSO, 2012). Além disso, é capaz de reduzir cerca de 75% de água e 60% de energia que seria necessária para a produção de papel a partir de fibras de madeira (DANTAS, 2012). Sendo uma forma de aproveitamento de resíduos agrícolas que seriam geralmente descartados (SILVA, 2017).

Geralmente as fibras vegetais não madeireiras, possuem um baixo teor de lignina quando comparados a madeira, facilitando o processo de polpação e branqueamento para obtenção do papel. Considerando que o papel é formado basicamente de celulose, uma macromolécula que encontrada na maioria das plantas, conclui-se que guardando as devidas proporções, essa celulose pode ser obtida de qualquer vegetal desde que passe pelo processo de polpação, onde a celulose é separada da lignina (SILVA, 2017).

Os resíduos do coco babaçu são utilizados como biomassa, para a produção de energia, por meio da queima direta, o que agrega pouco valor à matéria prima (ALMEIDA; DEL MENEZZI; TEIXEIRA, 2002). Dentre esses resíduos, está a casca do babaçu, que tem sido uma boa alternativa, inclusive na produção de celulose e papel, pois está disponível em grande quantidade. Levando em consideração que irá amenizar os impactos ambientais (LIMA *et al.*, 2006).

O babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) é uma espécie de palmeira, pertencente à família Arecaceae (LEITMAN, *et al.*, 2015). De acordo com Franco (2010), o babaçu frutifica durante todo o ano, sendo a maior produtividade ocorre de agosto a janeiro. Cada palmeira produz de 3 a 5 cachos que contém entre 300 a 500 frutos por cacho, que possuem amêndoas oleaginosas e comestíveis, bem atrativas pela fauna silvestre e os homens (LORENZI, 2010).

O fruto do babaçu se divide em quatro partes principais, de fora para dentro: o epicarpo, parte mais superficial que representa 13% do fruto que apresenta característica fibrosa. O mesocarpo que tem entre 0,5 cm a 1,0 cm de espessura e representa 20% do fruto, composto principalmente por amido. O endocarpo, parte mais interna do fruto, bastante lenhosa e rígida que envolve as amêndoas, mede aproximadamente 3,0 cm de diâmetro e representa a maior parte do fruto, cerca de 60%. E por último, a amêndoa rica em óleo, que consiste em 7% do coco, mede cerca de 2,0 cm e é recoberta com uma película cor castanha (BARROS, 2011).

O fruto dessa palmeira possui grande importância econômica e social, pois apresenta diversos usos. O mesocarpo tem sido bastante utilizado para a fabricação de farinhas de uso culinário, devido sua importância nutricional é utilizado na alimentação animal e humana, enquanto a folha se utiliza para artesanato, cobertura de 83 casas, porém seu principal uso é para a extração de óleo amêndoa, que são utilizados tradicionalmente nas 84 comunidades, ou até mesmo para indústria de cosméticos (CARRAZZA; SILVA; ÁVILA, 2012).

Devido a industrialização das amêndoas do babaçu (*Attalea speciosa*) gera um grande volume de resíduo, a utilização deste possibilitaria agregar valor econômico, além de aumentar a renda das famílias extrativistas, e conseqüentemente, a qualidade de vida.

Portanto o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial das fibras do coco babaçu (*Attalea speciosa*) para a produção de papel.

■ MÉTODOS

Coleta do coco e preparo das fibras

Os frutos (cocos) de babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) foram obtidos a partir de diversas palmeiras selecionadas ao acaso nas proximidades da área urbana do município de Brasil Novo/PA. Cerca de 50 kg de frutos foram coletados, que se encontravam secos e caídos dos cachos das palmeiras. Primeiramente esses frutos foram descascados e em seguida foram processados em um triturador forrageiro, de facas elétrico da marca Trapp, modelo TRF 400, para a preparação das amostras foram utilizados os materiais retidos nas peneiras de 60 mesh, de acordo com a norma ASTM D 1762-84 (2007). Sendo que parte

das fibras do epicarpo do fruto de coco babaçu foram trituradas com o mesocarpo e outra parte sendo retirado, manualmente, todo o mesocarpo presente nas fibras, para avaliação anatômica e por infravermelho das fibras.

As amostras da matéria prima foram acondicionadas em câmara climatizada (20 °C de temperatura e 65 % de umidade) até atingirem massa constante ao teor de umidade de equilíbrio higroscópico de 12%. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Química e Biomassa Florestal da Faculdade de Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Pará.

Caracterização anatômica das fibras

Para a determinação das dimensões das fibras do epicarpo do fruto de coco babaçu, foram retirados todo o mesocarpo de cinco amostras foram colocados em tubos de ensaios, para a maceração dos elementos fibrosos de acordo com (FRANKLIN, 1945). O processo de maceração dos conteúdos fibrosos foi conduzido em solução (1:1) de peróxido de hidrogênio a 130 mL volumes (35%) e a outra parte de ácido acético glacial P.A. Posteriormente conservado em banho-maria no período de 24 horas em uma temperatura de 70 °C, isso até a dissociação completa. Após a individualização do material, ocorre um processo de lavagem com água destilada até que o material dissociado apresentasse coloração branca em seguida corado com hidroalcoólica de Safranina (1%) e adicionando três gotas de formaldeído (CH₂O) para a conservação das fibras.

Com o material dissociado, foram montadas cinco lâminas histológicas de cada tubo de ensaio preparado, totalizando 25 lâminas histológicas e para mensurar o comprimento, largura e diâmetro do lume de 10 fibras por lâmina, totalizando 250 medições.

As medições foram executadas com o auxílio do software de análise de imagem Optcam versão 5.1, e as medições foram realizadas no microscópio modelo Optcam, sendo que o comprimento e o diâmetro foram medidos no foco de 4x.

Na mensuração das fibras serão caracterizados: o comprimento das fibras (l), diâmetro da fibra (D), diâmetro do lúmen (d) e sendo indiretamente determinada espessura da parede celular (e) conforme a Equação 1.

$$e = \frac{D-d}{2} \quad \text{(Equação 1)}$$

Índices de qualidade da fibra para celulose e papel

A partir dos valores médios de comprimento, diâmetro do lúmen e espessura da parede foram calculados os seguintes índices qualitativos das fibras (Equação 2, 3, 4, 5, 6 e 7)

aspectos considerados importantes para produção e relacionados às propriedades físicas mecânicas do papel produzido, descrito por (SADIKU, OLUYEGE, & AJAYI, 2016):

$$FP = \left(\frac{2e}{D} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

$$CF = \left(\frac{d}{D} \times 100 \right) \quad (\text{Equação 3})$$

$$IR = \left(\frac{2e}{d} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

$$FL = \left(\frac{D^2 - d^2}{D^2 + d^2} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

$$IE = \left(\frac{C}{D} \right) \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: e = espessura da parede celular; D = diâmetro da fibra; d = diâmetro do lúmen, C = Comprimento da fibra, FP = Fração Parede, CF = Coeficiente de Flexibilidade, CR = coeficiente de rigidez, IR = Índice de Runkel, FL = fator de forma de Luce e IE = Índice de Enfeltramento.

Caracterização Físico-química das fibras

A matéria prima triturada foi preparada de acordo com métodos padrão estabelecidos pelas normas TAPPI T 257 e caracterizada quimicamente segundo as normas: teor de umidade (TAPPI T 264), teor de cinzas (TAPPI T 211), extrativos etanol-tolueno (TAPPI T204), solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH) a 1% (TAPPI T212), solubilidade em água quente (TAPPI T207), lignina Klason (TAPPI 222), holocelulose (TAPPI T09), a-celulose (TAPPI T 203) e hemicelulose pela diferença da dos teores de holocelulose e celulose (WISE & KARL, 1962).

Cozimento das Fibras para Polpa Celulósica

Para o processo de obtenção da polpa celulósica, a matéria-prima triturada e seca foi separada para cozimentos em solução alcalina de diferentes teores. As amostras foram cozidas em 500 ml de solução de NaOH variando nas concentrações (10, 15 e 20 %), por 90 minutos aquecidas a 70 °C sob agitação frequente.

Após o cozimento as amostras foram lavadas exaustivamente em água corrente até se encontrarem livres de qualquer resíduo da solução ou licor negro, estando assim com o pH neutro. Posteriormente, essas amostras de fibras foram secas em estufa a 105 °C até obter massa constante, e então colocou-se no dessecador para o resfriamento e pesada para cálculo de rendimento e análises de infravermelho.

Branqueamento da Polpa Celulósica

Foram determinados quatro tipos de branqueamentos (tabela 1), para cada cozimento da polpa celulósica (10%, 15% e 20%). Onde foram separados 10 g da amostra cozida e com mesocarpo e aplicados diferentes metodologias para o branqueamento inicial, com concentrações e reagentes diferentes com 200 mL de solução aquecidos em banho maria a 55 °C por 90 minutos sob agitação frequente, segue abaixo as metodologias descritas para cada tratamento e suas concentrações aplicados no branqueamento 1.

Tabela 1. Tipos de tratamento de branqueamento para a fibra de coco babaçu.

Tratamento 1	NaOH (5%) e peróxido de hidrogênio (32%)
Tratamento 2	NaOH (5%) e peróxido de hidrogênio (16%)
Tratamento 3	NaOH (10%) e peróxido de hidrogênio (16%)
Tratamento 4	24 g de clorito de sódio pa. e 10 mL de ácido acético glacial

Fonte: O autor (2022).

Logo após as amostras foram lavadas, secas e pesadas, cada tratamento foi submetido a outros dois branqueamentos onde utilizou-se 200 mL solução com peróxido de hidrogênio (16%), aquecidos em banho maria 162 °C a 55 °C por 90 minutos sob agitação frequente, que foram denominados de 2° e 3° branqueamento. Ao final de cada branqueamento as amostras foram lavadas, secas e pesadas para a obtenção do rendimento.

Análise química por espectroscopia de Infravermelho próximo (NIR)

As análises de NIR das amostras da fibra com e sem o mesocarpo foram realizadas no Laboratório de Caracterização Mineral, na UFPA – Campus Belém em um equipamento da Thermo modelo Nicolet iS 50 FT-IR utilizando varredura de na região espectral Middle 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} , 100 scanner e resolução de 4 cm^{-1} .

Análise de dados

Para a variação das características anatômicas das fibras obteve-se os valores médios e o desvio padrão. Os índices qualitativos (coeficiente de flexibilidade, fração parede, índice de Runkel, coeficiente de rigidez e fator forma de luce) foram expressos em médios e desvio padrão não havendo um estudo estatístico devido apresentarem resultados da matéria in natura. Os dados referentes a produção de polpa celulósica e das fases de branqueamento foram analisados por estatística descritiva e análise de variância (ANOVA). Se hipótese nula foi rejeitada, os valores médios foram comparados com Teste de Tukey a 95% de probabilidade de erro ($P > 0,05$).

■ RESULTADOS

Caracterização anatômica das fibras

A caracterização das propriedades morfológicas da fibra de coco babaçu são expressas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades morfológicas da fibra de coco babaçu.

Propriedades morfológicas das fibras	Valor médio
Comprimento da fibra (μm)	1050 (208,4)
Largura da fibra (μm)	18,8 (3,5)
Largura do lúmen (μm)	7,2 (2,2)
Espessura da parede celular (μm)	5,6 (1,5)

Fonte: O autor (2022).

As fibras foram categorizadas como fibra moderadamente média (1000 a 1500 μm) devido apresentarem um comprimento médio de 1050 μm , conforme o padrão publicado pela Associação Internacional de Anatomia da Madeira (IAWA 1937). As paredes fibrosas são caracterizadas como espessas com um valor médio de 5,6 μm . Diâmetro do lúmen médio encontrado para a espécie em estudo foi de 7,19 μm .

Índices de qualidade da fibra de coco babaçu para celulose e papel

Os valores derivados das dimensões da fibra são importantes para determinar a adequação do material para a produção de papel. Nesse contexto, o índice de Runkel refere-se a firmeza da fibra. Na Tabela 3 é possível analisar os valores de índices de qualidade da fibra de coco babaçu para celulose e papel

Tabela 3. Índices de qualidade da fibra de coco babaçu.

Índices de qualidade da fibra	Valor médio
Índice de Runkel	1,52 (0,84)
Fração Parede (%)	55,8 (18,1)
Coefficiente de rigidez (%)	58,12 (19,0)
Coefficiente de Flexibilidade	0,39 (0,12)
Fator de forma de Luce	0,72 (0,14)

Fonte: O autor (2022).

Onde: Os números entre parênteses são os valores dos desvios padrão.

Com os valores obtidos para o índice de Runkel (1,52) a fibra foi classificada como regular com para produção de papel. É possível constatar na Figura 1 que o valor médio do índice de Runkel foi atribuído a presença de algumas amostras com elevados índices, pois

Tabela 4. Composição química da fibra de coco babaçu.

Composição química	Valor médio (%)
Teor de umidade	11,99 (0,23)
Solubilidade em água quente	0,36 (0,01)
Solubilidade em NaOH a 1%	7,62 (0,84)
Teor de Cinzas	1,87(0,08)
Teor de extrativos em tolueno: etanol (2:1)	2,87 (0,002)
Teor de Holocelulose	50,16 (0,36)
Teor de Celulose	32,37 (2,25)
Teor de Hemiceluloses	17,79 (2,61)
Teor de Lignina Total	55,57 (4,19)

Fonte: O autor (2022).

Onde: Os números entre parênteses são os valores dos desvios padrão

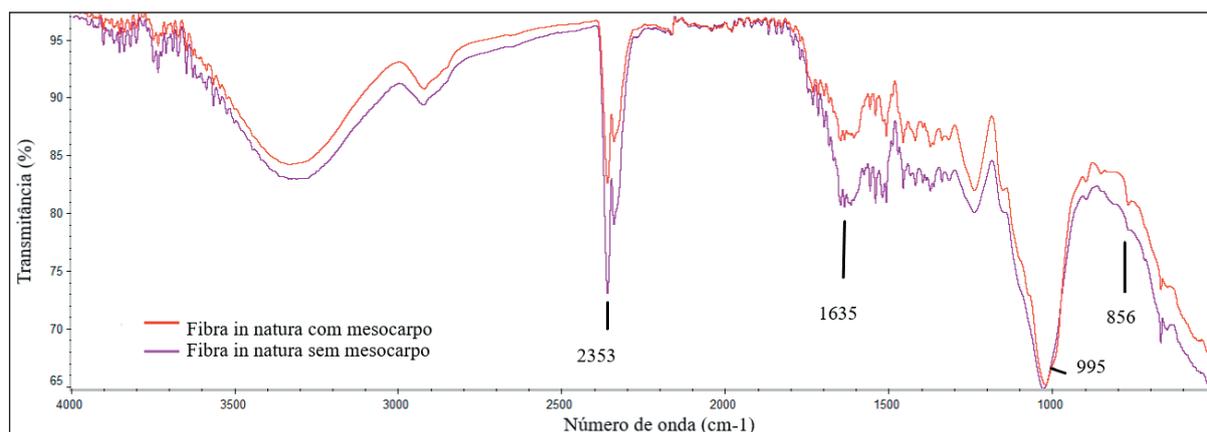
O teor de umidade encontrado na amostra foi de 11,99%. Quanto aos testes de teor de solubilidade em água quente foi encontrado 0,34% de material solubilizado e para teor de solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, o valor encontrado foi de 7,6%. O teor de cinzas encontrado nas fibras do coco babaçu (1,87%), O teor holocelulose e celulose presentes nas fibras da *A. speciosa* foram de 50,16% e 32,37%, O teor de lignina encontrado foi de 55,6%.

Análise química das fibras por espectroscopia de Infravermelho próximo (NIR)

Na Figura 2, pode-se observar o espectro na região do infravermelho da fibra de coco babaçu com e sem mesocarpo. A banda de absorção que aparece na região 2353 cm^{-1} , onde a amostra livre de mesocarpo apresentou uma intensificação da banda que segundo Sudre, Santos e Moreira (2015), se refere à vibração do estiramento assimétrico do grupo CH₂ e simétricos do CH₃ da cadeia longa dos ácidos graxos presentes no babaçu.

Na região de absorção 1635 cm^{-1} aparece o pico com intensidade mais fraca que de acordo Sudre, Santos e Moreira (2015), ocorre devido à deformação axial do grupo carbonila C=O para a amostra contendo mesocarpo, devido às reações de ligação do mesocarpo com a fibra. A banda de absorção de C-O, presente nos ésteres presentes nas amostras de fibra de babaçu na região de 1149 e 995 cm^{-1} tem intensidade fraca e muito forte, respectivamente, que para de acordo Sudre, Santos e Moreira (2015), ocorre devido às vibrações de estiramentos assimétricos acoplados à ligação C-O dos ésteres de cadeia longa de ambas as amostras, não havendo diferenciação pela presença do mesocarpo.

Figura 2. Análise por infravermelho da fibra de babaçu com e sem mesocarpo.



Fonte: O autor (2022).

Estes resultados corroboram com os dados encontrados na análise química, onde apresentou um alto teor de lignina nas fibras de coco babaçu com a presença de mesocarpo, pois quando analisadas as bandas referentes ao mesocarpo, nota-se que um declínio considerável no gráfico para as fibras trituradas sem o mesocarpo. O que é ocasionado pelos grupos similares presentes na lignina e no mesocarpo, demonstrando um valor errôneo na análise química do teor de lignina. Pois os picos encontrados em 1.328 e 1.271 cm^{-1} .

Análise do rendimento do Cozimento das Fibras de coco babaçu para Polpa Celulósica

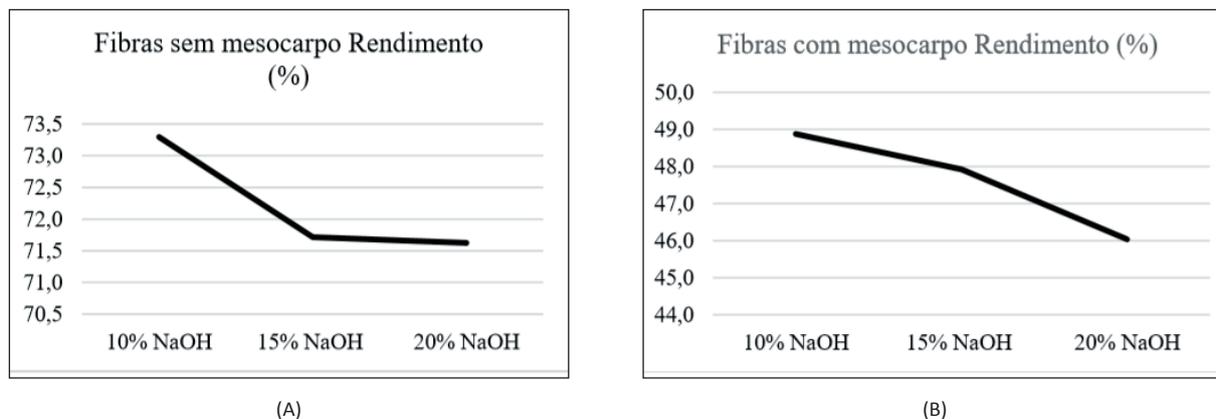
Um aspecto importante durante a produção de celulose é o elevado consumo de reagentes nos processos de polpação. A partir de processos químicos alcalinos a matéria prima é transformada em polpa, o hidróxido de sódio é consumido por reações com seus os constituintes básicos como: lignina; carboidratos e ácidos orgânicos, e seu consumo dependente das condições de polpação.

Levando em consideração as variáveis do processo como tempo, temperatura, Relação licor: matéria prima (g/ml) e quantidade de reagente, durante o estudo se fixou as variáveis tempo (90 minutos), temperatura (70 °C), relação licor: matéria prima (5:1) e variou a proporção de reagente para realizar o estudo da cinética de reação da fibra de coco babaçu, em relação a carga de álcali. Observou-se a variação da cinética, tendo em conta a presença ou ausência de mesocarpo nas fibras estudadas.

As fibras do coco babaçu trituradas com o mesocarpo, quando cozidas em solução de hidróxido de sódio a 10%, 15% e 20%, alcançaram os rendimentos de 48,9%, 47,9%, 46%, respectivamente. Para as fibras trituradas sem o mesocarpo, cozidas sob as mesmas condições, apresentaram rendimentos consideravelmente maiores (73,3%, 71,7%, 71,6%). Entretanto, observou-se em ambos os experimentos Figuras 3 A e B, que alta carga de álcali diminui o rendimento, acredita-se que essa redução de rendimento ocorre principalmente

devido à dissolução de xilanas. Desta forma as fibras com mesocarpo apresentam maiores porcentagens deste composto, sendo necessários maiores estudos para observar a interferência do mesocarpo na utilização da espécie.

Figura 3. Avaliação entre o desempenho e a quantidade de reagente das fibras cozidas sem mesocarpo (A) e com

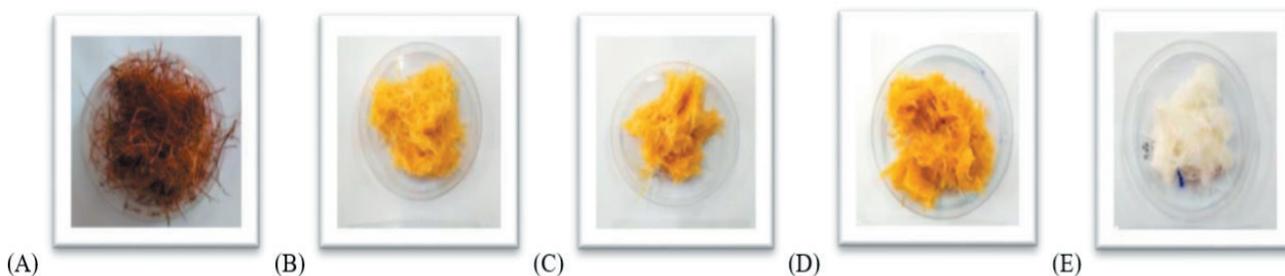


Fonte: O autor (2022).

Análise do rendimento do branqueamento da Polpa Celulósica de coco babaçu

Como parte do estudo potencial da fibra do coco babaçu na produção de celulose, realizou-se uma avaliação inicial, de diferentes processos de branqueamento para os diferentes cozimentos realizados, para fibra com a presença de mesocarpo. Os rendimentos obtidos para cada tratamento, após os branqueamentos são relacionados abaixo na Tabela 4 e podem ser observados na Figura 4.

Figura 4. Fibras cozidas com 10% de NaOH (A) submetidas aos 4 tratamentos de branqueamentos T1 (B), T2 (C), T3 (D), T4 (E).



Fonte: O autor (2022).

Na Figura 4 é possível observar visualmente a eficiência do branqueamento das fibras de coco babaçu, sabe-se que são necessários estudos mais aprofundados para verificação da efetividade do branqueamento com o estudo do número Kappa é uma indicação do teor de lignina residual ou da capacidade de branqueamento da pasta celulósica e entre outras características da polpa produzida.

O tratamento 4 com de clorito de sódio e ácido acético, foi o branqueamento que apresentou um rendimento inferior aos demais branqueamentos para todos os cozimentos realizados. Em relação ao tratamento 4 é possível observar que o aumento da carga álcali reduz o rendimento para esse tratamento. O que faz crer que a perda de rendimento é devido a degradação dos açúcares presentes na fibra em estudo.

Enquanto os demais tratamentos não foi possível observar um padrão de rendimento por carga álcali e variação entre os diferentes branqueamentos, entretanto observou-se que com baixa carga álcali (cozimento a 10%) e o tratamento 1 com carga de branqueamento de NaOH (5%) e peróxido de hidrogênio (32%), apresentou rendimentos 96,2%, após as 3 etapas de branqueamento, mas se levarmos em consideração a redução de reagentes observamos que tratamento 2 com carga de branqueamento de NaOH (5%) e peróxido de hidrogênio (16%), apresentou rendimentos 93,7 %, muito próximo ao tratamento 1, entretanto usando a metade da carga de peróxido de hidrogênio (apenas 16%), levando em consideração a redução de custos e a questão da redução dos impactos ambientais na hora da produção da polpa celulósica, determinou-se que os demais ensaios realizados em trabalhos futuros irão ser aplicados somente para a carga de álcali de 10% e com o tratamento 2, devido a redução da quantidade de peróxido utilizada.

Tabela 4. Rendimento para os diferentes branqueamentos da fibra de coco babaçu.

Cozimento		Rendimento (%)		
		1° Branqueamento	2° Branqueamento	3° Branqueamento
10% NaOH	TRATAMENTO 1	76,2	97,0	96,2
	TRATAMENTO 2	58,3	91,6	93,7
	TRATAMENTO 3	77,7	86,9	96,5
	TRATAMENTO 4	54,3	97,2	83,2
15% NaOH	TRATAMENTO 1	82,0	98,5	93,3
	TRATAMENTO 2	88,3	98,6	93,2
	TRATAMENTO 3	85,9	93,8	97,0
	TRATAMENTO 4	68,5	83,7	84,8
20% NaOH	TRATAMENTO 1	76,0	93,9	98,2
	TRATAMENTO 2	85,7	90,8	95,7
	TRATAMENTO 3	70,2	98,0	98,4
	TRATAMENTO 4	61,7	70,3	74,3

Fonte: O autor (2022).

■ DISCUSSÃO

Caracterização anatômica das fibras

Para Baldin *et al.* (2017) é fundamental conhecer a anatomia das fibras, para se determinar o comportamento da polpa em condições operacionais de processo, devido que as

fibras representam maior parte dos elementos celulares presentes no vegetal e seu comprimento, espessura e largura da parede afetam, diretamente, o rendimento e a qualidade do produto. Apresentando valor superior ao valor médio encontrado por Cardoso & Gonzalez (2016) para as fibras do epicarpo do *Coco nucifera* (779,6 μm), mas com valores muito próximos aos encontrados por Gouvea *et al.*, (2012) para as fibras de clones de eucalipto (1078 μm). A fibra mais longa tende a ser menos uniformemente distribuída em uma folha de papel e pode causar malformação (Syed *et al.* 2016). As paredes fibrosas apresentam valores encontrados por Borges (2017) para espécies de eucalipto (4,10 μm – 5,40 μm). Para Gonzalez (2011), a espessura da parede da fibra afeta de forma significativa o colapso entre as fibras, quanto maior a espessura da parede celular, maior a aderência entre elas.

Diâmetro do lúmen médio encontrado superior aos de Dutt e Tyagi, (2011) para *Eucalyptus* spp. (3,29 μm - 3,86 μm), segundo Akpakpan *et al.*, (2012), o tamanho do lúmen afetará a rigidez e a resistência do papel. No entanto, quanto maior o diâmetro do lúmen da fibra, maior será o volume vazio formando uma folha de papel de superfície grosseira (Kaur e Dutt 2013). Enquanto as fibras longas com paredes finas tendem a formar uma folha de papel não porosa, firmemente colada, e flexível. Em contraste, a fibra de paredes grossas menos flexível produzirá menos folha de papel mais encorpada e mais volumosa, resultando em menor explosão (AKPAKPAN *et al.*, 2012).

Índices de qualidade da fibra de coco babaçu para celulose e papel

Quanto maior o índice, significa que mais rígida será essa fibra, tal característica pode afetar as propriedades de resistência e acabamento desse (GONÇALEZ *et al.*, 2014). Diversos autores classificam a utilização das fibras de acordo com o índice de Runkel, sendo que Barrichelo e Brito (1976) classificam as fibras como excelente para papel com IR até 0,25, 212 entre 0,25 - 0,5 classificadas como muito boas, entre 0,5 - 1,0 são consideradas boas, entre 1,0 - 2,0 são regulares e acima de 2,0 não devem ser usadas para produção de papel tendo em vista o baixo grau de colapso.

Portanto, as fibras de coco babaçu são satisfatórias para fabricação de papel, pois de acordo com Ververis *et al.*, (2004), esse índice pode ser melhorado usando-se uma técnica de triagem adequada da matéria prima que requer mais custo de produção.

Em estudos realizados por Foelkel (2007) as indústrias de papel e celulose indicam que uma fração de parede celular acima de 40% demonstra fibras mais rígidas e difíceis de entrar em colapso, formando um papel com fibras com poucas ligações entre elas, gerando um baixo entrelaçamento das redes de fibras, devido que fibras curtas e grossas não produzem bom contato superficial e ligação fibra-a-fibra. Entretanto resulta em papéis mais volumosos, rugosos, porosos e absorventes (Ogbonnaya *et al.*, 1997).

Segundo Sharma *et al.* (2013) o índice de esbeltez, denominado coeficiente de rigidez, que apresentar resultados maiores que 33% são considerados bom para a produção de celulose e papel, sendo que é inestimável para a qualidade da polpa celulósica e para a formação do papel resultados menores que 70% (Young, 1981).

Os valores encontrados neste estudo para a fibra de coco babaçu foi de 58,12%, valores considerados ótimos pelos referidos autores, se comparado com valores encontrados por Cardoso & Gonzalez (2016) para o Coco nucifera (42,14%) apresentou levemente superior, o que significa que a resistência da fibra de coco babaçu (*Attalea speciosa*) ao rasgo é maior que a fibra do Coco nucifera.

Quanto maior o coeficiente de flexibilidade mais maleável e flexível essa fibra será, o que resulta em uma maior ligação entre ela e, conseqüentemente aumenta a resistência à tração e ao estouro do papel (FOELKEL *et al.*, 1978). O coeficiente de flexibilidade médio foi 0,3921, assim, classificado como fibras com baixa flexibilidade. Bektas *et al.* (1999) valores entre 0,25–0,50, como encontrados no estudo, classificam as fibras como baixa flexibilidade, que, ao se entrelaçam, tendem a formar um papel pouco resistente.

Em estudos realizados por Foelkel (2007) as indústrias de papel e celulose indicam que uma fração de parede celular acima de 40% demonstra fibras mais rígidas e difíceis de entrar em colapso, formando um papel com fibras com poucas ligações entre elas, gerando um baixo entrelaçamento das redes de fibras, devido que fibras curtas e grossas não produzem bom contato superficial e ligação fibra-a-fibra. Entretanto resulta em papéis mais volumosos, rugosos, porosos e absorventes (Ogbonnaya *et al.*, 1997).

Segundo Sharma *et al.* (2013) o índice de esbeltez, denominado coeficiente de rigidez, que apresentar resultados maiores que 33% são considerados bom para a produção de celulose e papel, sendo que é inestimável para a qualidade da polpa celulósica e para a formação do papel resultados menores que 70% (Young, 1981). Os valores encontrados neste estudo para a fibra de coco babaçu foi de 58,12%, valores considerados ótimos pelos referidos autores, se comparado com valores encontrados por Cardoso & Gonzalez (2016) para o Coco nucifera (42,14%) apresentou levemente superior, o que significa que a resistência da fibra de coco babaçu (*Attalea speciosa*) ao rasgo é maior que a fibra do Coco nucifera.

Quanto maior o coeficiente de flexibilidade mais maleável e flexível essa fibra será, o que resulta em uma maior ligação entre ela e, conseqüentemente aumenta a resistência à tração e ao estouro do papel (FOELKEL *et al.*, 1978). O coeficiente de flexibilidade médio foi 0,3921, assim, classificado como fibras com baixa flexibilidade. Bektas *et al.* (1999) valores entre 0,25–0,50, como encontrados no estudo, classificam as fibras como baixa flexibilidade, que, ao se entrelaçam, tendem a formar um papel pouco resistente.

De acordo com Baldin *et al* (2017) o fator de forma de Luce, é derivado da forma circular do diâmetro da fibra e do diâmetro do lúmen da fibra, que fornece o indicador para a está relacionado com a densidade final da folha de papel, podendo ser uma propriedade utilizada na seleção dos exemplares quanto à qualidade da fibra. Em geral as propriedades associadas com o grau de enlace das fibras tendem a aumentar com o comprimento das fibras.

Caracterização Físico-química das fibras

Segundo Santos (2016), é importante o conhecimento desse parâmetro, por se tratar de uma característica que compromete o material na resistência mecânica, trabalhabilidade, estabilidade, durabilidade natural, entre outros.

Conforme Oliveira *et al.*, (2005) a água quente é capaz de solubilizar substâncias como gomas, açúcares, corantes, taninos e amidos. E o hidróxido de sódio mede a quantidade de carboidratos de baixo peso molecular, que são basicamente compostos por celulose degradada, o que pode demonstrar o grau de degradação por fungos, calor, luz, oxidação, entre outros (WILLE *et al.*, 2017).

O teor de cinzas encontrado nas fibras do coco babaçu (1,87%) foi superior ao encontrado por Santos *et al.* (2016) nas espécies do gênero *Eucalyptus* (0,2%). O que indica que o material em estudo apresenta maiores quantidades de substâncias inorgânicas. De acordo com Moreira (2006) a presença de material inorgânico ou mineral é prejudicial ao processo de extração da celulose, pois causam o desgaste dos equipamentos, ocasionando a diminuição da produtividade.

Outro fator prejudicial à produção de papel segundo o Jardim *et al.*, (2017), são os extrativos pois sua aderência e viscosidade ocasionam sucessivas paradas para a limpeza dos equipamentos. No entanto, os teores de 268 extrativos encontrados nas amostras estudadas (2,9%) foram bem parecidas com os valores encontrados por Santos *et al.*, (2016) (2,11%) e Jardim *et al.*, (2017) (1,9% - 4,9%) em amostras de *Eucalyptus*.

O teor holocelulose e celulose presentes nas fibras da *A. speciosa* foram de 50,16% e 32,37%, apresentaram-se próximos ao teor de holocelulose encontrado no epicarpo do *C. nucifera* (46,84%) por Cardoso & Gonzalez (2016). Porém, quando comparadas com os teores de holocelulose e celulose das espécies de *E. urophylla* e *E. grandis* são relativamente inferiores. Para holocelulose Santos *et al.*, (2016) encontrou para o *E. urophylla* 74,71% e *E. grandis* 76,32% e para celulose 50,85% e 24,37% respectivamente.

Para Superbia & De Paula (2011) a celulose é o componente mais importante para a produção de papel, pois as fibras são organizadas por uma cadeia de celulose e as folhas são essas fibras reorganizadas. Uma madeira com um alto teor de celulose favorece o rendimento da polpa celulósica para fabricação de papéis “tissue” enquanto as madeiras com

teores elevados de hemicelulose favorecem a produção de polpas celulósicas destinadas a produção de papéis para impressão e escrita (FERREIRA, et. al., 2006).

O teor de lignina encontrado foi de 55,6%, alto quando comparado com outras espécies. Cardoso & Gonzalez (2016) encontrou 47% para o epicarpo do *Cocos nucifera*, enquanto para algumas espécies de *Eucalyptus*, Jardim et al., (2017) encontrou valores entre 27,1% a 31,3%.

Análise química das fibras por espectroscopia de Infravermelho próximo (NIR)

Entretanto as ligações C-O apresentam uma fraca intensidade na amostra livre de mesocarpo, que foi atribuída à deformação angular assimétrica no plano CH₂ onde todos os grupos metilenos se deformam nesta região (SUDRE; SANTOS; MOREIRA, 2015).

Pois os picos encontrados em 1.328 e 1.271 cm⁻¹ que segundo Dos Santos et al. (2014) correspondem ao pico de vibração condensada de syringyl e guaiacyl, apresentaram baixa intensidade na presença do mesocarpo. Picos comuns em lignina em 830 cm⁻¹ e um ombro a 1.159 cm⁻¹, representando unidades G e S (Kline et al., 2010) foram mascarados na presença do mesocarpo, o que demonstra que o mesocarpo presente nas fibras, reage de forma similar a lignina.

Análise do rendimento do Cozimento das Fibras de coco babaçu para Polpa Celulósica

Estes resultados estão de acordo com Gomide et al. (2010), que encontrou para clones de *Eucalyptus* valores que variaram entre 44,6% a 53,1% para soluções com teores de 17% a 23% de NaOH. Com menores quantidades de reagente foi possível obter um maior rendimento de fibras cozidas do coco babaçu, em comparação com os rendimentos encontrados para o Eucalipto.

■ CONCLUSÃO

A utilização de fibras naturais para a produção de papel tem sido cada vez mais estudada, com intuito a preservação do meio ambiente por meio de matérias primas com ciclos mais curtos de produção. Os principais resultados encontrados para a análise química e anatômica das fibras demonstrou grande potencial para a utilização em papel de embalagens e a fibra de babaçu apresenta um possível potencial para utilização em associação com outro tipo de fibra na produção de papéis para impressão e escrita,

As fibras de coco babaçu apresentaram um rendimento durante o cozimento maior que espécies de reflorestamento mais usuais como o eucalipto, usualmente utilizado pelas indústrias de celulose e papel. A presença de mesocarpo na fibra de babaçu, reduziu o

rendimento em aproximadamente 25% de polpa celulósica. Cozimento com alto álcali (20%) não apenas aumentará o custo total de produção da polpa de coco babaçu, como reduz o rendimento durante o cozimento, tornando inviável sua utilização.

Com relação ao branqueamento, o tratamento 2 com menor carga de peróxido apresentou resultados satisfatórios para menor carga álcali.

■ REFERÊNCIAS

1. Abraf, A. E. (2013). ano base 2012. **Brasília: Abraf.**
2. Akpakpan, A. E., Akpabio, U. D., & Obot, I. B. (2012). Evaluation of physicochemical properties and soda pulping of *Nypa fruticans* frond and petiole. **Elixir Appl. Chem**, 45, 7664-7668.
3. Almeida, R. R., Del Menezzi, C. H. S., & Teixeira, D. E. (2002). Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya sp.*) to produce cement-bonded particleboard. **Bioresource Technology**, 85(2), 159-163.
4. ASTM - **American Society For Testing And Material** (2007). Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. D 1762 – 84, 2001.
5. Baldin, T., Marchiori, J. N. C., Nisgoski, S., Talgatti, M., & Denardi, L. (2017). Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus L'Hér.* **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, 8(2).
6. Barrichelo, L. E. G., & Brito, J. O. (1976). *A madeira das espécies de eucalipto como matériaprima para a indústria de celulose e papel.* **Brasília: PRODEPEF.**
7. Barros, I. C. (2016). Avaliação Biofarmacotécnica de potencial excipiente farmacêutico: pó de mesocarpo de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.). **Teresina: Universidade Federal do Piauí**, 2011. 91p.
8. BEKTAŞ, İ., TUTUŞ, A., & EROĞLU, H. (1999). A study of the suitability of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) for pulp and paper manufacture. **Turkish journal of Agriculture and Forestry**, 23(EK3), 589-598.
9. Borges, R. N. (2017). Determinação da densidade básica da madeira e dimensões das fibras de eucalipto *urograndis* em dois sítios.
10. CAGED. **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados.** (2012).
11. CARRAZZA, L. R., ÁVILA, J. C. C., & SILVA, M. L. D. (2012). **Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do Babaçu.**
12. Cardoso, M. S., & Gonzalez, J. C. (2016). Aproveitamento da casca do coco-verde (*Cocos nucifera* L.) para produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, 26(1), 321-330.
13. CARDOSO, M. S. (2012). **Aproveitamento da casca do coco verde (*Cocos nucifera* L.) para produção de polpa celulósica.**

14. DANTAS, M R. (2012). **Prospecção das Tecnologias para Produção de Fibra Secundária Branqueada de Celulose por Processamento de Papel Recuperado de Pós-Consumo**. 142p.
15. DEPEC – **Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos, Papel e celulose 2019**, Bradesco. Disponível < https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_papel_e_celulose.pdf> acessado em maio de 2020.
16. dos Santos, P. S., de Cademartori, P. H. G., Prado, R., Gatto, D. A., & Labidi, J. (2014). Composition and structure of organosolv lignins from four eucalypt species. **Wood science and technology**, 48(4), 873-885.
17. Dutt, D., & Tyagi, C. H. (2011). **Comparison of various eucalyptus species for their morphological, chemical, pulp and paper making characteristics**.
18. Ferreira, M. (2006). **Introdução à preservação digital: conceitos, estratégias e actuais consensos**. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
19. Foelkel, C. (2007). As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 79.
20. Foelkel, C. E. B., Zvinakevicius, C., Andrade, J. R., Kato, J., & Medeiros, J. (1978). Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. **Cenibra Pesquisa**, (68), 1-31.
21. Franco, F. J. P. (2010). **Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra** (Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
22. Franklin, G. L. (1945). Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, 155(3924), 51-51.
23. Gomide, J. L., Fantuzzi Neto, H., & Regazzi, A. J. (2010). Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, 34(2), 339-344.
24. Gonzalez, J. C., Santos, G. D., Silva Junior, F. D., Martins, I. S., & Costa, J. D. A. (2014). Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, 42(101), 81-89.
25. GONÇALEZ, J.C. (2011). **Nota de aula da disciplina Celulose e Papel**. Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Florestal.
26. Gouvea, A. G., Gomes, C. M., Matos, L. M., Souza, T. A., Kumabe, F. J. B., & Benites, P. K. R. M. (2012). Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose kraft. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, 3(2), 10-12953.
27. IAWA (1937). Standard terms of length of vessel members and wood fibers. (**Tropical Woods**), 51, 21-22.
28. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - **IBÁ. Relatório anual IBA 2017**, ano base 2016. São Paulo: IBÁ, 2017, 80 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>>, acesso em 08 de out. 2017. 14.

29. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - **IBÁ. Relatório anual IBA 2020**, ano base 2019. São Paulo: IBÁ, 66 p, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>
30. Jardim, J. M., Gomes, F. J. B., Colodette, J. L., & Brahim, B. P. (2017). Avaliação da qualidade e desempenho de clones de eucalipto na produção de celulose. **O papel**, São Paulo, ano, 78, 122-129.
31. Kaur, H., & Dutt, D. (2013). Anatomical, morphological and chemical characterization of lignocellulose by-products of lemon and sofia grasses obtained after recuperation of essential oils by steam distillation. **Cellulose Chemistry and Technology**, 47(1-2), 83-94.
32. Kline, L. M., Hayes, D. G., Womac, A. R., & Labbe, N. (2010). Simplified determination of lignin content in hard and soft woods via UV-spectrophotometric analysis of biomass dissolved in ionic liquids. **BioResources**, 5(3), 1366-1383.
33. Leitman, P.; Soares, K.; Henderson, A.; Noblick, L.; Martins, R.C. (2015). **Arecaceae in Lista de 465 Espécies da Flora do Brasil**.
34. Lima, A. M., Vidaurre, G. B., Lima, R. D. M., & Brito, E. O. (2006). Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, 30(4), 645-650.
35. Lorenzi, H. (2010). **Flora brasileira: Arecaceae (palmeiras)**. Nova Odessa. 367 p.
36. Moreira, E. (2006). **Efeito da lixiviação ácida de cavacos de eucalipto no processo Kraft**.
37. Ogbonnaya, C. I., Roy-Macauley, H., Nwalozie, M. C., & Annerose, D. J. M. (1997). Physical and histochemical properties of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) grown under water deficit on a sandy soil. **Industrial Crops and Products**, 7(1), 9-18.
38. Oliveira, J. T. D. S., Souza, L. C. D., Della Lucia, R. M., & Souza Júnior, W. P. D. (2005). Influência dos extrativos nas resistências ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, 29(5), 819-826.
39. Santos, R. D., Mello Júnior, J. A. D., Caraschi, J. C., Ventorim, G., & Pereira, F. A. (2016). Polpação kraft e kraft/aa da madeira pré-hidrolisada de híbrido de *Eucalyptus urophylla x grandis*. **Ciência Florestal**, 26(4), 1281-1290.
40. Silva, F. P. (2017). Características morfológicas das fibras de *Agave americana* L., *Saccharum spp.*, *Heliconia rostrata*, *Arundo donax*, *Musa spp.* e roseta de *Ananas comosus* visando a produção de papel artesanal.
41. Sudre, K. J. F., Santos, A. M. C. M., & Moreira, L. R. D. M. O. (2015). Avaliar a composição química do mesocarpo de babaçu (*orbignya oleifera*) in natura no município Raposa-Ma. **Eclética Química**, 40, 216-226.
42. SUPERBIA, F. F., & PAULA, N. (2011). Utilização da palha de cana de açúcar para produção de papel artesanal. **IV Semana de Tecnologia do Curso de Biocombustíveis da Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal, 3**.

43. Syed, N. F. N., Zakaria, M. H., & Bujang, J. S. (2016). Fiber characteristics and papermaking of seagrass using hand-beaten and blended pulp. **BioResources**, 11(2), 5358-5380.
44. Sadiku, N. A., Oluyeye, A. O., & Ajayi, B. (2016). Fibre dimension and chemical characterisation of naturally grown *Bambusa vulgaris* for pulp and paper production. **J. Bamboo Ratt.**, 15, 33-43.
45. Sharma, M., Sharma, C. L., & Kumar, Y. B. (2013). Evaluation of fiber characteristics in some weeds of Arunachal Pradesh, India for pulp and paper making. **Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences**, 1(3), 15-21.
46. TAPPI Press Standards. (2007). **TAPPI Test Methods**. Atlanta, GA.
47. TAPPI T 09: Holocellulose in wood, 1973.
48. TAPPI T 203: Alpha- beta- and gamma-cellulose in pulp, 2002.
49. TAPPI T 204: Solvent extractives of wood and pulp, 2007.
50. TAPPI T 207: Water solubility of wood and pulp, 2002.
51. TAPPI T 211: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C, 2002.
52. TAPPI T 212: One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp, 2002.
53. TAPPI T 222: Acid-insoluble lignin in wood and pulp, 2002.
54. TAPPI T 257: Sampling and preparing wood for analysis, 2002.
55. TAPPI T 264: Preparation of wood for chemical analysis
56. Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P., & Santas, R. (2004). Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. **Industrial crops and products**, 19(3), 245-254.
57. Young, J. H. (1981). Fiber preparation and approach flow in pulp and paper. *Chemistry and Chemical Technology*. **Interscience publishers**, New York, 25-35.
58. Wise, L. E., & Karl, H. L. (1962). **Cellulose and hemicellulose in pulp and paper science and technology**. Earl LC, editor, 1.
59. Wille, V. K. D., Wastowski, A. D., Pedrazzi, C., & Sauer, M. P. (2017). Composição química da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. *Ciência Florestal*, 27(4), 1441-1449.



Oportunidades e desafios do uso de biomassa compactada para fins energéticos

| **Astrogildo Pires Bernardo**

Universidade Federal do Tocantins - UFT

| **Fabíola Martins Delatorre**

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

| **Juan Carlos Valdés Serra**

Universidade Federal do Tocantins - UFT

| **Ananias Francisco Dias Júnior**

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

| **Álison Moreira da Silva**

Universidade de São Paulo - ESALQ/USP

RESUMO

Estima-se que a oferta mássica de biomassa no Brasil seja de 2898 milhões de toneladas no ano de 2030. Correspondente a grande parte por resíduos, seja agrícola ou florestal, podem se tornar uma grande problemática ambiental se gerido de forma inadequada. Contudo, estes materiais possuem grande potencial energético, obtido pela combustão direta ou por tecnologias avançadas de conversão. O presente trabalho contemplou uma revisão bibliográfica sistemática, buscando consolidar dados existentes sobre métodos de aproveitamento de resíduos agrícolas e florestais para a produção de *pellets*, além do levantamento do mercado atual de biomassa adensada no Brasil. Concluiu-se que os *pellets* são biocombustíveis renováveis que possuem bom potencial energético e constituem-se uma crescente oportunidade de mercado para o Brasil, com expansão em diferentes aplicações, considerando a possibilidade de exportação.

Palavras-chave: Biomassa Compactada, *Pellets*, Mercado de Biomassa.

■ INTRODUÇÃO

A energia oriunda da biomassa residual é considerada uma das principais alternativas para substituir a dependência dos combustíveis fósseis globalmente. As atividades voltadas a agricultura e silvicultura representam 27,4% do Produto Interno Bruto (PIB) no Brasil (CEPEA, 2021). Também são altamente geradoras de biomassa considerados resíduos, com potencial risco em causar problemas ao meio ambiente, se descartado de forma inadequada. Estes resíduos necessitam ser devidamente gerenciados, a fim de não promover nenhum impacto e desequilíbrio ambiental (MOREIRA, 2019). Lima (2020) estima que nos planos de manejo florestal sustentável, para cada 1 tonelada de madeira extraída, são geradas 2,13 toneladas de resíduos na forma de saposomas, maravalhas, serragem, restos de troncos e galhos. Devido ao baixo custo e pronta disponibilidade os resíduos podem ser aproveitados, tendo em vista a redução de custos de produção e impactos ambientais (COSTA FILHO, 2017).

A quantidade de biomassa produzida no Brasil é expressiva, devido sua abundância de recursos naturais e aptidão agrícola e florestal. Considerada uma das fontes de produção de energia com maior potencial de crescimento (ANEEL, 2020), a biomassa é apontada como alternativa para a diversificação da matriz energética mundial. A agricultura representa 33% do potencial energético da biomassa no Brasil, grande parte representado pelo bagaço de cana, enquanto as atividades florestais correspondem a 65% (MORAES, 2017). Contudo, os resíduos de biomassa gerados nas atividades agropecuárias e florestais ainda são subutilizados. Dessa forma, a biomassa produzida necessita de avaliações mais precisas quanto ao seu potencial de utilização energético.

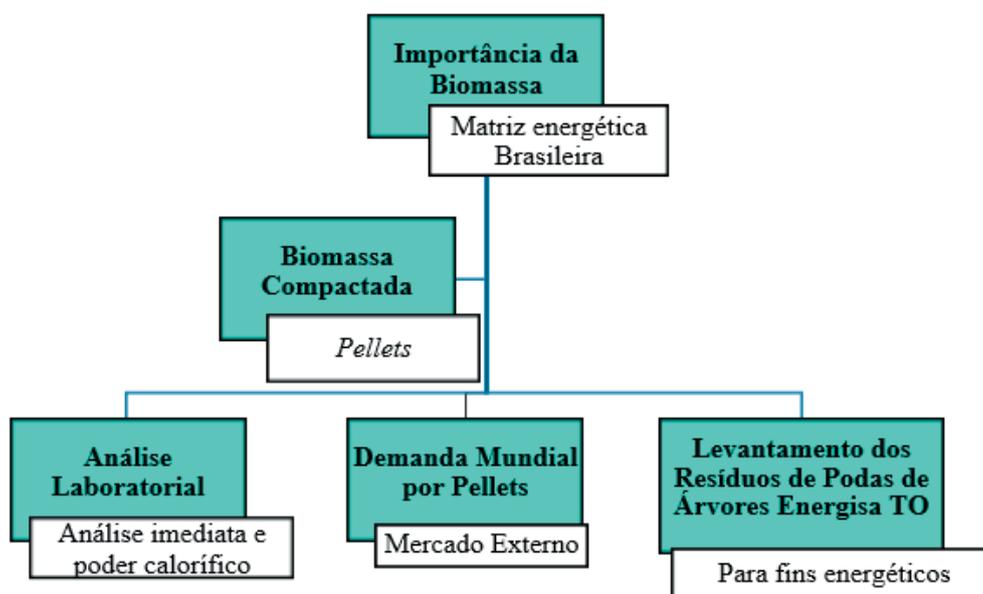
Segundo o Centro Nacional de Referência em Biomassa, é possível classificar a obtenção da energia da biomassa em duas categorias principais: (i) tradicional, em que é obtida por meio de combustão direta de madeira, lenha, resíduos agrícolas, resíduos de animais e urbanos, para cocção, secagem e produção de carvão; ou (ii) moderna, em que é obtida por meio de tecnologias avançadas de conversão, como pirólise de biomassa, geração de eletricidade por meio do gás de síntese ou na produção de biocombustíveis sólidos por adensamento (CENBIO, 2020).

O presente trabalho contempla um levantamento das principais características químicas e energéticas, análise sobre a demanda mundial, normativas europeias, qualidade e mercado e produção brasileira dos *pellets*. com a finalidade de consolidar dados existentes sobre tecnologias de processamento de resíduos agrícolas e florestais para produção de biomassa adensada ou *pellets*; vislumbrando um panorama sobre a demanda energética no Brasil e as principais fontes de energia renovável; demanda mundial por *pellets*, exigências das normas internacionais e capacidade de produção de *pellets* no Brasil.

■ MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho foi desenvolvido sobre os preceitos do estudo exploratório, através de uma pesquisa bibliográfica, por meio de uma abordagem sistêmica. Para obter-se êxito, utilizou-se para pesquisas: livros, artigos, teses, dissertações e outros. Foram consultados, também, sites de empresas e órgãos tais como: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). As bases utilizadas como fonte de pesquisa dentro da plataforma Capes foram: *web of Science*, *Scielo* e *Google Acadêmico*. As palavras chaves utilizadas para que a busca obtivesse sucesso foram: *pellets*; biomassa adensada; briquetes. Para uma melhor compreensão deste estudo, a metodologia foi delimitada em uma sequência lógica conforme instruído na Figura 1.

Figura 1. Sequência lógica da metodologia.



Fonte: Os autores.

Foi feito levantamento sobre a importância da biomassa como a principal fonte renovável na Matriz Energética Brasileira no Site da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e a participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira junto ao site do Ministério de Minas e Energia (MME); foram abordados trabalhos técnicos sobre o conceito de pellets e um estudo comparativo das suas principais características químicas e energéticas; uma análise sobre a demanda mundial por pellets, as exigências das normas europeias de qualidade e mercado de pellets e; produção brasileira de pellets.

■ RESULTADOS E DISCUSSÕES

Biomassa como principal fonte de energia renovável no Brasil

Estimativas apontam que, até o ano de 2050, mais de 90% da população mundial estará vivendo em países em desenvolvimento. Todavia haverá uma elevada demanda global por energia e total incentivo na busca por fontes energéticas alternativas para suprir a demanda (MORAES, 2017). A Tabela 1 evidencia o Brasil como um dos maiores produtores de biomassa do mundo, com uma oferta mássica em 2005 de 558 milhões de toneladas, tendo uma projeção para 1.402 milhões de toneladas para o ano de 2030 (EPE, 2017).

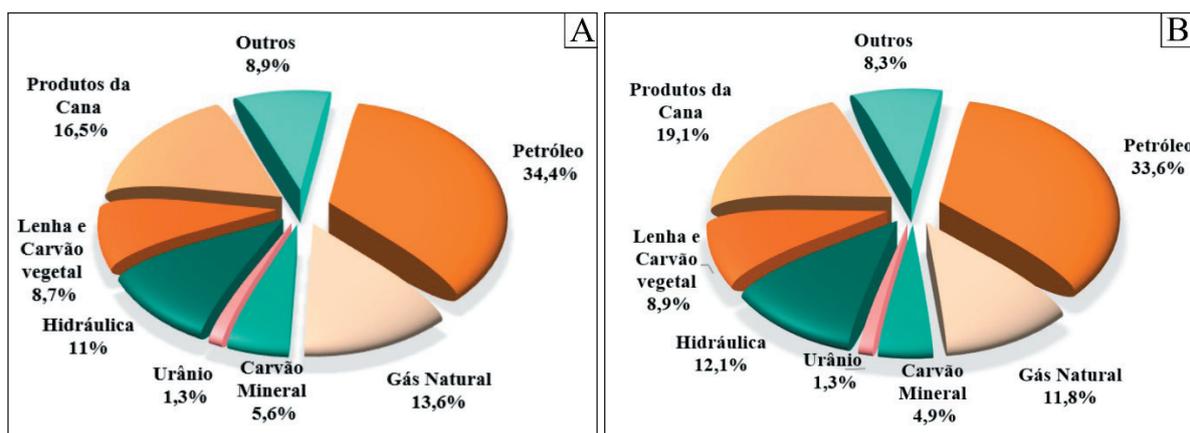
Tabela 1. Oferta mássica de biomassa por resíduos agropecuários e florestais (milhões de toneladas).

Biomassa residual	Ano				
	2005	2010	2015	2020	2030
Resíduos Agrícolas	478	633	768	904	1196
Soja	185	251	302	359	482
Milho	176	251	304	361	485
Arroz (palha)	57	59	62	66	69
Cana-de-açúcar	60	73	100	119	160
Resíduos agroindustriais	80	98	130	154	207
Cana-de-açúcar (bagaço)	58	70	97	115	154
Arroz (casca)	2	2	3	3	3
Lixívia	13	17	21	25	34
Madeira	6	8	10	12	16
Florestas energéticas	13	30	31	43	46
Madeira excedente	13	30	31	43	46
Total	1141	1522	1859	2204	2898

Fonte: Adaptado de Moraes (2017).

De acordo com o *Atlas da eficiência energética de 2021* (EPE, 2021), a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira está entre as maiores do mundo: 45,1% da energia produzida no país vêm de fontes renováveis de energia (biomassa, hidráulica, lenha, carvão vegetal e outros), valor três vezes superior à média mundial, que é de aproximadamente 14%. A Figura 2 expressa graficamente a composição da Matriz energética Brasileira em 2021 vs. 2020 (EPE, 2020).

Figura 2. Oferta interna de energia 2021 (a) e oferta interna de energia de 2020 (b).



Fonte: Adaptado de MME (2021).

O Brasil ficou 15% mais eficiente energeticamente entre 2005 e 2019, com destaque para os setores residencial e de transportes. A indústria consome um terço de toda a energia produzida no país para a fabricação de seus produtos. Até 2017 era o setor que mais consumia energia, mas foi superado pelo setor de transporte por conta da crise econômica que abateu o país a partir de 2014. Eletricidade, bagaço de cana, lenha e carvão vegetal são as principais fontes de energia da indústria (EPE, 2021).

Conforme observado na Tabela 2, as principais fontes de energia renovável no Brasil são biomassas, correspondentes a 34,1% da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) do país, com destaque para a cana-de-açúcar (bagaço e etanol) ao qual respondem atualmente por 16,5% da matriz elétrica (MME, 2021). Contudo, lenha, carvão vegetal e outras somam 17,6% (EPE, 2021).

Tabela 2. Contribuição das biomassas na oferta interna de energia elétrica.

Fonte	OIE 2021 (%)	OIE 2020 (%)
Produtos da Cana-de-açúcar	16,5	19,1
Lenha e Carvão Vegetal	8,7	8,9
Outros	8,9	8,3

Fonte: Adaptando de MME (2021).

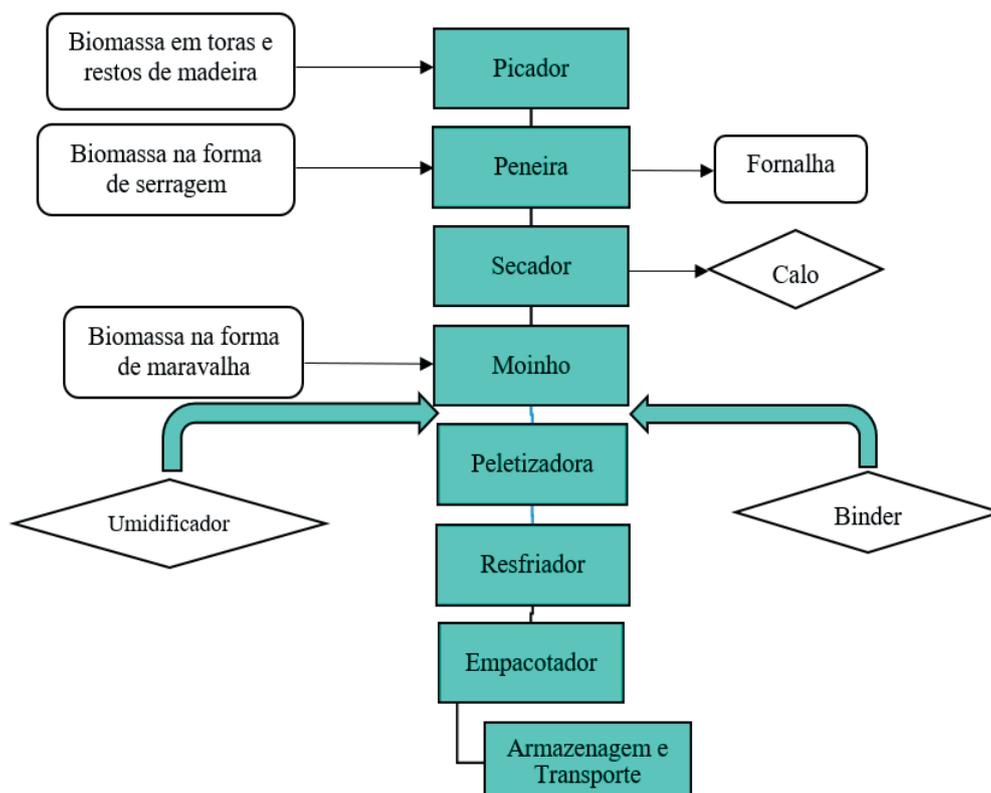
O bom desempenho da geração de energia por biomassa é atribuído ao bagaço de cana, com crescimento de 3% em 2021 quando comparado ao ano anterior. Ao todo o Brasil produziu 3.108,6 MW médios, superando o resultado de 3.007,1 MW médios de 2018. O crescimento decorre principalmente da ampliação do número de empreendimentos dedicados à produção de energia a partir da fonte, sendo 295 usinas contabilizadas em dezembro ante 274 no mesmo mês do ano passado. A capacidade instalada também apresentou crescimento, com 13,09 GW aferidos, 2% maior que os 12,82 GW anteriores (MME, 2021).

O principal problema da utilização de resíduos para geração de energia é a baixa densidade energética. Uma forma eficaz de solucionar esse problema é a compactação da biomassa, ou seja, produção de materiais sólidos densificados, com alta concentração de energia, denominados *pellets* ou briquetes (SILVA *et al.*, 2015).

Biomassa compactada

O *pellet* é um biocombustível granulado à base de biomassa vegetal moída e compactada em alta pressão. O calor gerado pela fricção na passagem pelos furos da matriz peletizadora provoca a transformação dos componentes lignocelulósicos. O resultado é um produto adensado de alto poder calorífico e boa resistência mecânica (ABIB, 2016). Para produzir o *pellet*, vários tipos de biomassa são utilizados. Todavia, a principal fonte de matéria-prima vem da atividade agropecuária e florestal. A transformação de subprodutos madeireiros possui baixo valor comercial e produz um biocombustível de excelente qualidade, devido ao baixo teor de cinza (WOLF; VIDLUND; ANDERSSON, 2006). Depois de recolhida e triturada, a biomassa é transformada em pó e comprimida para obter a forma final. Assim, de 6 a 8 metros cúbicos de serragem ou cavacos de madeira, depois de secos, processados e comprimidos, geram 1 metro cúbico de *pellets*. A Figura 3 ilustra o processo de peletização de forma simplificada (QUÉNO *et al.*, 2019).

Figura 3. Fluxograma simplificado do processo de peletização.



Fonte: Adaptado de Quéno *et al.* (2019).

Alguns produtores utilizam um agente ligante (*binder*) do tipo lignossulfonato. Em contrapartida, têm efeito negativo no seu valor calorífico e aumentam a emissão de monóxido de carbono (AHN *et al.*, 2014). Por isso, as normas limitam o uso desses agentes ao máximo de 2% da massa total do produto (TARASOV; SHAHI; LEITCH, 2013). Os biocombustíveis sólidos são comercializados internacionalmente. Sua geometria regular e cilíndrica permite ótima fluidez e facilita a automatização de processos, comerciais e industriais, de queima do produto. Além disso, é um produto de fácil manuseio, transporte e ocupa pouco espaço na armazenagem (GARCIA, 2017).

A biomassa desenvolvida para a combustão dos *pellets* tem capacidade de redução significativa das emissões de GEE. Entretanto, devido as fontes de matéria-prima serem provenientes de resíduos, ainda haverá uma contribuição significativa na redução do risco de incêndios florestais. A Tabela 3 apresenta as principais características dos *pellets* (CAMARGO *et al.*, 2017).

Tabela 3. Principais características dos *pellets*.

Dimensões	Diâmetro: 4 – 10 mm
	Comprimento: 10 – 40 mm
Poder Calorífico Superior	16,9 – 22,0 MJ/kg (4,04 – 5,26 kcal/kg)
Teor de umidade	6 – 10% (Base Seca)
Teor de Cinzas	Menor que 0,5%
Matéria-prima	Serragem, maravalha e resíduos agropecuários
Densidade à granel	650 – 700 kg/m ³
Conversão termoelétrica	1,0 MWh = 3600MJ ≈ 212 kg de <i>pellets</i>

Fonte: Adaptado de Quéno (2019).

Potencial fonte de biomassa para produção de *pellets*

No Brasil, os principais resíduos energéticos em potencial para pronto aproveitamento são os gerados no setor sucroalcooleiro e nas indústrias madeireiras. Algumas biomassas não têm grande aplicação imediata devido a custos logísticos de coleta, transformação e pesquisa aplicada (ABIB, 2016). A principal utilização do bagaço é como insumo para atender à demanda energética nas usinas sucroalcooleiras que utiliza cerca de 90% para esse fim. Mais recentemente, também tem sido observada a utilização do bagaço de cana como matéria-prima na produção de etanol de segunda geração (MORAES *et al.*, 2017).

Segundo MORAES *et al.* (2017), ainda que somente 10% (ou menos) do bagaço de cana estejam disponíveis para outras utilizações, tal porcentagem equivale a mais de 18.700 milhões de toneladas de resíduo, um volume bastante expressivo e que supera largamente a soma de outros resíduos que se mostram disponíveis para produção de *pellets* no Brasil. Além disso, a queima de bagaço em caldeiras das usinas ocorre sem nenhum tratamento prévio, a despeito do seu elevado teor de umidade e elevado volume, e a sua aglomeração,

na própria usina, pode elevar a densidade energética do material, aumentando sua eficiência como combustível.

Os resíduos industriais de madeira são gerados desde o transporte da madeira em tora à indústria, até seu manuseio e processamento, finalizando no produto acabado. Desse processamento são gerados resíduos de diferentes formatos e características que podem ser classificados como: cavaco, cepilho, maravalhas e serragem (ABIB, 2016).

Em termos mundiais, os resíduos de madeira figuram entre as principais fontes de biomassa para produção de energia, principalmente quando na forma de *pellets* (*wood pellets*). Durante o desdobro da madeira nas serrarias, o rendimento varia de 30 a 45% e em processos modernos e otimizados pode atingir 60%, em ambos os casos, a produção de resíduos é significativa (MURARA JR. *et al.*, 2013).

A biomassa adensada pode substituir com vantagens o carvão mineral sem impactar no efeito estufa. Por esse motivo, a demanda mundial por *pellets* de biomassa vem aumentando rapidamente na Europa (MORAES *et al.* 2017). A Associação Europeia de Biomassa estima que, até 2025, serão consumidos 80 milhões de toneladas de *pellets*.

Dados laboratoriais dos *pellets*

Os *pellets* são biocombustíveis renováveis, produzidos a partir de resíduos (pó de serra, serragem, maravalha de madeira, bagaço de cana e outros) que passam por processo de secagem (umidade ideal de 12%), moagem (tamanho de partículas $\approx 3,0$ mm) e densificação em matriz peletizadora perfurada com abertura de 6 ou 8 mm de diâmetro (GARCIA *et al.*, 2017).

O teor de umidade é considerado um dos parâmetros mais importantes de um material utilizado para fins energéticos pois o valor do poder calorífico, é inversamente proporcional a quantidade de água presente no material lignocelulósico conforme preconiza a norma ABNT NBR 9656 (MORAES *et al.*, 2018).

Os resíduos são classificados granulometricamente, sendo submetidos a uma separação mecânica através de peneiras classificadas em 20, 40, 60 e 100 mesh com auxílio de um agitador de peneiras com batidas intermitentes conforme preconizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 8112/1986 (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Para qualificar a biomassa em relação a seu potencial energético, é fundamental analisar a composição química dos resíduos. Dentre os processos de análise química, a análise imediata visa avaliar a quantidade de carbono fixo, teor de cinzas e materiais voláteis presentes na biomassa para fins energéticos segundo a norma ABNT NBR 8112/83 (GARCIA, 2017). Para determinação da densidade a granel adota-se a norma ABNT NBR 6922/1981, para carvão vegetal. Para isso utiliza-se um cilindro de PVC com volume conhecido, e este

é preenchido até a borda com os *pellets* e, assim através de uma balança de precisão, é calculada sua massa (CAMARGO *et al.*, 2017).

O valor do poder calorífico superior (PCS) é obtido por meio da bomba calorimétrica, por meio da metodologia estabelecida na norma NBR 8633/1984 (ABNT, 1984) e calculada a densidade energética da biomassa, a partir do produto entre o valor do PCU e da densidade a granel (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A densidade aparente dos *pellets*, é determinada por meio do método estequiométrico, o qual consiste em obter o volume a partir de medições, utilizando um paquímetro e a massa do *pellet* em uma balança com precisão de 0,001 gramas. Obtém-se a densidade aparente através da equação (CAMARGO *et al.*, 2017):

$$D_{ap} = \frac{M_i}{V}$$

Em que: D_{ap} = densidade aparente (g.cm³); M_i = massa inicial (g) e V = volume (cm³).

A resistência a tração por compressão diametral é realizada empregando-se uma máquina universal de ensaios, a partir de uma adaptação da norma NBR 7222/1994 (ABNT, 1994) para determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras cilíndricas de concreto e argamassa (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A Tabela 4 expressa a análise química imediata e densidade a granel dos *pellets* e a Tabela 5 expressa valores energéticos dos *pellets*. Trata-se de dados reais, quantificados e analisados em laboratório, preconizados pelas normas pertinentes e publicados em artigos e periódicos científicos por vários pesquisadores:

Tabela 4. Análise química imediata e densidade a granel dos *pellets*.

Autores	Teor de Umidade (%)	Carbono Fixo (%)	Teor de Cinzas (%)	Materiais Voláteis (%)	Densidade a Granel (Kg/m ³)
Moraes <i>et al.</i> , 2018 (<i>Pinus caribaea var. hondurensis</i>)	13,8	18,6	0,21	87,5	320,5
Da Silva <i>et al.</i> , 2015 (Bagaço de Cana-de-açúcar)	12,0	17,89	1,42	80,7	600,0
Oliveira <i>et al.</i> , 2017 (<i>Serragem pinus sp.</i>)	12,0	17,3	0,80	81,8	156,2
Da Silva <i>et al.</i> , 2015 (palha de cana-de-açúcar)	12,0	17,22	12,2	70,59	700,0

Fonte: Os autores.

Combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando maior tempo de residência nos aparelhos de queima (MORAES *et al.*, 2018). Valores baixos de teor de cinzas são interessantes do ponto de vista energético, pois altas quantidades de cinzas diminuem o poder calorífico, causando perda de energia (DA SILVA *et al.*, 2015). O alto teor de materiais voláteis é importante por ser um facilitador da queima desse material, pois esse parâmetro é o responsável pela ignição do fogo e pela velocidade da combustão (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Tabela 5. Valores energéticos *dos pellets*.

Autores	Poder Calorífico Superior (%)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Densidade Energética a Granel (MJ/m ³)	Densidade Energética (GJ/m ³)	Resistência a tração por compressão diametral RTCD
Moraes et al., 2018 (<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>)	19,1	1.280	4.768,0	19,0	2,95 Mpa
Da Silva et al., 2015 (Bagaço de Cana-de-açúcar)	18,5	1.267	4.255,0	17,3	2,70 Mpa
Oliveira et al., 2017 (Serragem <i>pinus</i> sp.)	19,0	1.218,5	3.115,8	24,2	3,51 Mpa
Da Silva et al., 2015 (palha de cana-de-açúcar)	15,63	1.110	2.435,04	10,5	2,50 Mpa

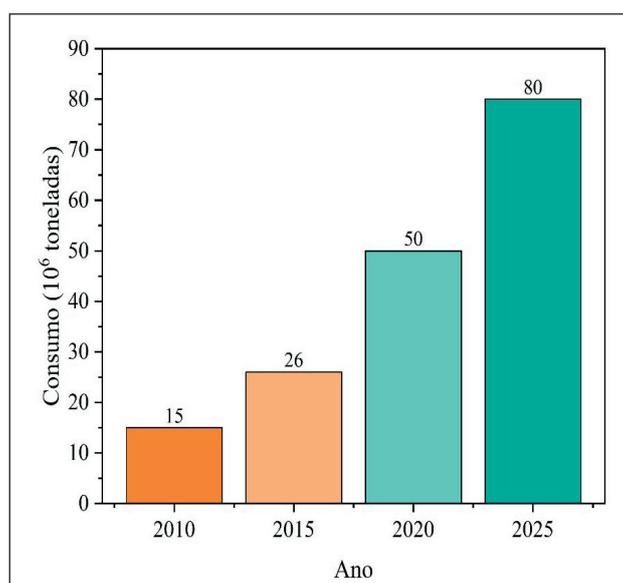
Fonte: Os autores.

O Poder Calorífico Superior (PCS) é um dos principais parâmetros para expressar a capacidade de geração de energia em substituição aos combustíveis derivados do petróleo. Essa propriedade está relacionada diretamente com a quantidade de energia liberada pela madeira em sua combustão (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A Densidade Energética está diretamente relacionada com o poder calorífico da biomassa e com a densidade a granel (DA SILVA *et al.*, 2015). É desejável que os resíduos lignocelulósicos apresentem maiores valores de densidade a granel, pois fatores como o custo do transporte e a densidade energética são essenciais na viabilidade econômica das energias renováveis (MORAES *et al.*, 2018).

Demanda mundial de *pellets*

A Figura 4, ilustra o crescimento mundial da demanda de *pellets* de forma exponencial, passando de 15 milhões de toneladas em 2010 para mais de 26 milhões de toneladas em 2015, com projeção de 80 milhões de toneladas em 2025 (GARCIA, 2018).

Figura 4. Evolução da demanda mundial de *pellets*.



Fonte: Adaptado de Garcia (2018).

Os *pellets* são menos poluentes que os derivados do petróleo e têm sido utilizados por países que precisam reduzir suas emissões de gases do efeito estufa, para, assim, atender os acordos firmados na Conferência do Clima em Paris (GARCIA, 2017). Em outros estudos, Wihersaari, Agar e Kallio (2009) e Obernberger e Thek (2010) projetaram que entre 10% e 12% de toda a madeira industrial colhida no mundo será transformada em *pellets* até o ano de 2025.

Mercado de *Pellets*

Alguns estudos realizados para avaliar o uso de *pellets* na produção de energia, aponta uma economia significativa na emissão de GEE. Segundo Pinel (2015), a quantidade de CO² emitido ao longo da cadeia que abrange a produção, o transporte e a combustão, por kWh produzido, é até seis vezes inferior à de óleo combustível, no caso do aquecimento residencial, passando de 280 a 34 gCO²eq por kWh gerado.

Além disso, a evolução do preço dos *pellets* demonstra uma grande estabilidade ao longo desses últimos anos. A taxa de crescimento anual médio do preço dos *pellets* foi estimada, entre 2010 e 2015, em 3,7%, na França e em 2,6%, na Bélgica, enquanto, para o gás, foi de 5%, para o gás propano líquido 4,6% e para o óleo combustível, 6,9% (PINEL, 2015).

O aumento significativo da demanda por *pellet* é resultado da boa competitividade frente às outras formas de energia disponíveis no mercado. Na Tabela 6 é possível observar a economia anual obtida em uma residência na Bélgica, utilizando o *pellet* para o sistema de aquecimento residencial. O uso do *pellet* pode, assim, gerar uma economia de mais de 75% do orçamento anual (QUENÓ, 2015).

Tabela 6. Orçamento anual para aquecimento de uma residência, consumo de 75.000 kWh, na Bélgica

Combustível	Consumo equivalente para 75.000 kWh	Preço de referência €	Custo anual €
Óleo Diesel (litro)	9.375	1,294	12.131,25
Gás GLP (litro)	12.960	0,443	5.741,28
Eletricidade (kWh)	75.000	0,284	2.130,00
<i>Pellets</i> (toneladas)	18	140	2.520

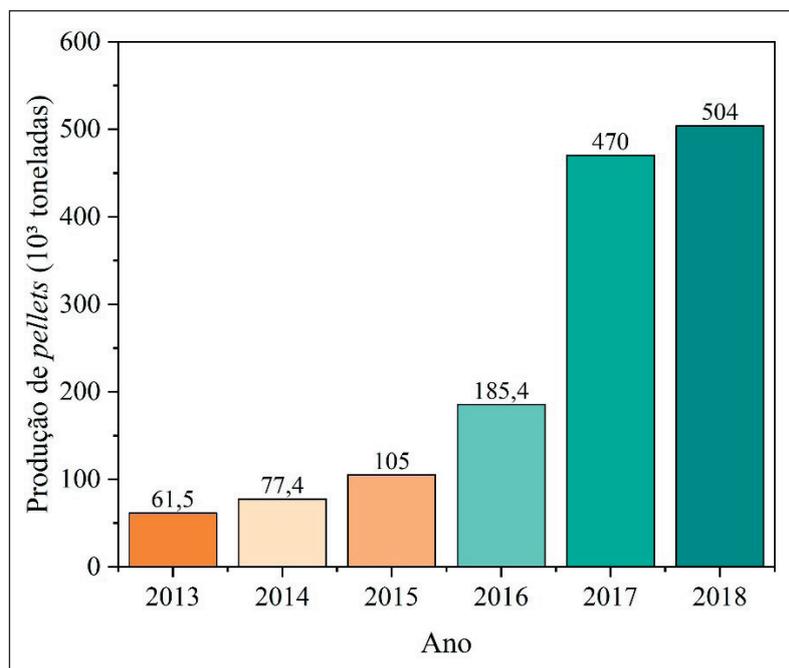
Fonte: Adaptado de Quéno (2019).

A baixa volatilidade dos preços dos *pellets* e da biomassa comparada às energias fósseis evidenciam que os preços das commodities de bioenergia são menos voláteis do que os preços aplicados aos combustíveis fósseis e contribuem, assim, para uma maior segurança no custo da energia em longo prazo, e por um país cuja matriz energética se estabeleça diversificada (KRANZL *et al.*, 2015).

A Figura 5 demonstra que houve um crescimento significativo na produção de *pellets* no Brasil, nos últimos anos, passando de 61,5 mil toneladas em 2013, para 504 mil toneladas

em 2018 (ABIB, 2019). Todavia, a produção ainda é pouco competitiva no mercado mundial, devido à falta de infraestrutura, baixa produtividade, juros altos e elevada carga tributária.

Figura 5. Evolução da produção de *pellets* no Brasil.



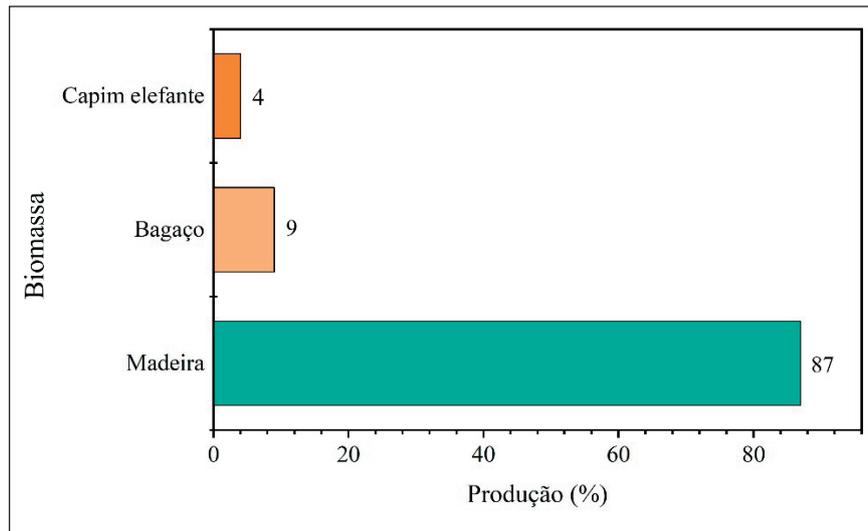
Fonte: Adaptado de ABIB (2019).

De acordo com relatório setorial de dados técnicos intitulado de CONJUNTURA NACIONAL E INTERNACIONAL SETOR INDUSTRIAL DE BIOMASSA *PELLETS* BRIQUETES, há sete anos, a capacidade de produção de *pellets* no Brasil era de 61,5 mil toneladas por ano e o país cresce 35% ao ano em termos de produção e consumo. Dois setores podem alavancar o desenvolvimento do setor de *pellets* no Brasil: Secagem de Grãos e Avicultura estes setores estão mudando a atual matriz energética de consumo de lenha (altamente emissora GEE e com teor de umidade e baixo poder calorífico) e o gás natural (aumento constante de preços e combustível não renovável) por *pellets* (ABIPEL, 2019).

Empresas produtoras de biomassa compactada no Brasil

De acordo com a associação Brasileira das Indústrias de Biomassa (ABIB) 73 empresas brasileiras produzem biomassa compactada. Essas empresas utilizam 3 tipos de biomassa: madeira, bagaço de cana-de-açúcar e capim elefante. Observa-se no gráfico expresso na Figura 6 a predominância do uso de madeira para a produção de *pellets*. Das empresas avaliadas, 87 % utilizam madeira, 09 % bagaço e 4 % capim elefante (MORAES *et al.*, 2017).

Figura 6. Tipos de biomassa utilizados no adensamento.

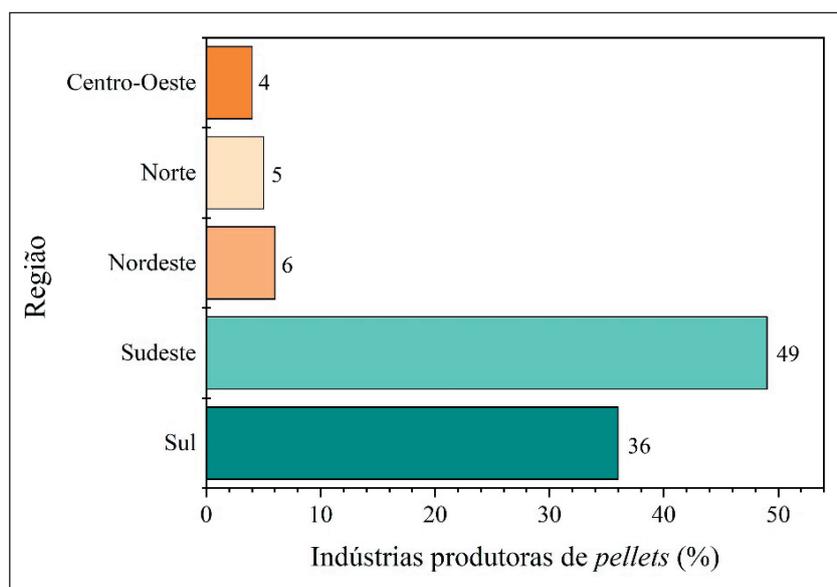


Fonte: Adaptado de ABIB (2019).

Os resíduos de biomassa são gerados em abundância em todas as etapas do desdobro da madeira, possuem baixo potencial de uso energético e baixo custo, principalmente pela baixa densidade energética. Por isso, este insumo é o mais utilizado para a produção de *pellets*, pois apresentam melhores características granulométricas e de logística em comparação a outros produtos de biomassa (MORAES *et al.*, 2018).

As principais indústrias produtoras de *pellets* estão situadas na região sul e sudeste do país. Essas duas regiões são as mais desenvolvidas no segmento, contemplando mais de 80% das indústrias. Desse ramo de atividade 49% estão alocadas na região sudeste e 36% na região sul conforme Figura 7 (MORAES *et al.*, 2017).

Figura 7. Percentual das indústrias de *pellets* por região.



Fonte: Adaptado de Moraes et al. (2017).

No contexto organizacional, o Brasil possui às associações vinculadas ao setor de biomassa e bioenergia. Dentre elas, destacam-se a Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB), O Instituto Brasileiro das Indústrias de *Pellets*, Biomassa e Brique (IBP), e a Associação Brasileira das Indústrias de *Pellets* (ABIPEL), no total, são 1528 empresas associadas (ABIB, 2019). Além disso, são realizadas feiras nacionais e internacionais de relevância para o setor de biomassa e bioenergia, com o objetivo de dinamizar e consolidar as tecnologias e o mercado neste segmento (MORAES *et al.*, 2017).

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados conclui-se que os *pellets* são biocombustíveis renováveis que possuem excelente potencial energético e baixo teor de cinzas. Além disso, é um produto de fácil manuseio, transporte e ocupa pouco espaço na armazenagem. Os *pellets* é excelente alternativa para mitigar a dependência dos combustíveis fósseis. A utilização da biomassa residual obtida diretamente do processamento da madeira é a alternativa mais recomendada para produção de *pellets*. Em detrimento de estar atrelado ao resíduo, menores custos de produção e maior índices de qualidade na produção de *pellets*, sem a necessidade de reprocessamento da matéria-prima e adequação granulométrica.

A procura por energia limpa e renovável torna os *pellets* de madeira ou de outros materiais lignocelulósicos um biocombustível promissor. Sobretudo, o uso de biomassa adensada constitui-se em uma importante oportunidade de mercado para o país com grande possibilidade de expansão, considerando a possibilidade de exportar para os países europeus, o maior e o mais exigente consumidor de biomassa adensada do mundo.

As projeções apontaram que até o ano de 2025 de 10 a 12% de toda a madeira industrial colhida no mundo será transformada em *pellets*. Constitui-se numa promissora oportunidade com produção em grande escala, baseada em plantações de eucaliptos e pinus dedicadas. É imprescindível que o Brasil assuma seu papel de protagonista na produção para abastecer o mercado interno e externo de biomassa adensada para uso energético.

Para alcançar esse objetivo, um esforço específico de pesquisa deve ser realizado com envolvimento das empresas públicas, privadas e pesquisadores. A meta consiste em adquirir recursos tecnológicos nos processamentos da biomassa e alcançar os padrões de qualidade exigidos pelo mercado com fortes exigências.

■ REFERÊNCIAS

1. ABIB, Associação Brasileira das Indústria de Biomassa. **Biomassa e Energia renováveis**. Curitiba, 2016. Disponível em: <https://www.biomassabioenergia.com.br/>. Acesso em: 11 de maio de 2020.
2. ABIB, Associação Brasileira das Indústria de Biomassa. **Conjuntura Nacional e Internacional Setor Industrial de Biomassa Pellets Briquetes**. Curitiba, 2019. Disponível em: <https://www.biomassabioenergia.com.br/>. Acesso em: 23 de junho de 2020.
3. ABIPEL, Associação Brasileira das Indústrias de *Pellets*. **Conjuntura Nacional e Internacional Setor Industrial de Biomassa Pellets Briquetes**. Curitiba, 2019. Disponível em: <http://www.biomassabr.com/>. Acesso em: 23 de junho de 2020.
4. AHN, B. J. et al. Effect of binders on the durability of wood *pellets* fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. **Renewable Energy**, Amsterdam, v. 62, p. 18-23, 2014.
5. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 4ª edição**. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 10 de abril de 2020.
6. CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. Universidade de São Paulo. 2020.
7. CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio Cresce 8,36 por cento em 2021, participação no PIB brasileiro chega a 27,4 por cento**. Universidade de São Paulo. 2021.
8. COSTA FILHO, D. V. **Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais na Elaboração de Subprodutos**. II Congresso Internacional de Ciências Agrárias, COINTER. 2017. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/>. Acesso em: 19 de abril de 2020.
9. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional**. 2021. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 08 de julho de 2022.
10. FAO, Organização Das Nações Unidas Para Alimentação E Agricultura. **Divisão de Estatística Produção e Comércio Florestal**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/pt/>. Acesso em: 08 de maio de 2020.
11. GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. O. **Setor de pellets de madeira no Brasil**. Revista Ciência da Madeira, v. 8, n. 1, p. 21-28. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/>. Acesso em: 08 de maio de 2020.
12. GARCIA, D. P. **Cresce a produção de pellets no Brasil**. Revista O papel. Nota Técnica. Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/publicacoes.php?id=2685>. Acesso em: 27 de jul de 2022.
13. KRANZL, L. et al. Does bioenergy contribute to more stable energy prices? In: IAEE EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY, POLICIES AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ECONOMICS, 10. **Proceedings**, 2015. p. 7-10.

14. LIMA, M. D. R. **A Segregação de Resíduos do Manejo Florestal Sustentável para Otimização da Produção Bioenergética na Amazônia Brasileira**. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2020.
15. MME, Ministério de Minas e Energia. **Setor Energético**. Brasília, 2021. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 10 de julho de 2020.
16. MORAES, M. D. A. et al. Bioenergia com resíduos do desdobro da madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis*. **Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal**. 2018.
17. MORAES, S. L. et al. **Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada**. Revista IPT Tecnologia e Inovação v.1, n.4, abril de 2017. Disponível em: <http://revista.ipt.br/>. Acesso em: 10 de junho de 2020.
18. MOREIRA, A. C. **Utilização de Resíduos Agroindustriais Baseado nos Princípios da Produção mais Limpa**. Centro Universitario de Maringá. Maringá, PR, 2019.
19. OBERNBERGER, I.; THEK, G. **The pellet handbook: the production and thermal utilization of pellets**. London: Earth Scan, 2010. 600 p.
20. PINEL, J. La filière *pellets* en France: **une filière à structurer dans un contexte d'internationalisation rapide du marché**. Paris: E-CUBE strategy consultants, 2015. 12 p.
21. QUENÓ, L. R. M. et al. **Aspectos técnicos da produção de pellets de madeira**. Revista Ciência Florestal. Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1478-1489, jul./set. 2019. Disponível em: <http://revista.ipt.br/>. Acesso em: 10 de junho de 2020.
22. SILVA, D. A. et al. **Caracterização de Biomassas para a Briquetagem**. Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, São Paulo. Setembro de 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/>. Acesso em: 19 de junho de 2020.
23. SILVA, J. W.F. **Da Biomassa Residual ao Briquete: Viabilidade Técnica para Produção se Briquetes na Microrregião de Dourados-MS**. Revista Brasileira de energias Renováveis. Dourados, MS, 2017.
24. SOUZA, V. H. A. de. **Aspectos sustentáveis da biomassa como recurso energético**. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15202/19811896.2015v20n40p105>. Acesso em: 10 de maio de 2020.
25. TARASOV, D.; SHAHI, C.; LEITCH, M. **Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: a review**. International Scholarly Research Notices Forestry, London, v. 2013, ID 876939, 6 p.
26. WIHERSAARI, M.; AGAR, D.; KALLIO, M. **Scenario analysis of fuel-pellet production: the influence of torrefaction on material flows and energy balances**. Uppsala: University of Jyväskylä, 2009. Disponível em: <https://www.uu.se/en/students/study>. Acesso em: 10 de junho de 2020.



Óxido Nítrico como mitigador de estresses em plantas

| **Vinícius Oliveira Amâncio**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Jéssica Carolina Barbosa da Silva**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Sara Cristine Farias de Oliveira**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Ana Ecídia de Araújo Brito**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Cândido Ferreira de Oliveira Neto**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Joze Melisa Nunes de Freitas**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Glauco André dos Santos Nogueira**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Luma Castro de Souza**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Vitor Resende do Nascimento**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

| **Gabriel Gustavo Tavares Nunes Monteiro**

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

RESUMO

Os solos estão perdendo o seu potencial produtivo em decorrência de práticas agrícolas inadequadas, da aplicação de agrotóxicos, dos resíduos que sobram de atividades como a mineração. Essas intempéries tornam os solos cada vez mais inaptos para a produção agrícola e florestal, devido causarem nas plantas algum tipo de estresse, diminuindo sua produção e produtividade. As condições de estresse biótico e abiótico impostas às plantas induzem a superprodução de espécies reativas de oxigênio (ROS), causando danos às estruturas celulares podendo acarretar a morte da planta. Atenuadores de estresses estão sendo pesquisados para que as plantas tolerem esses estresses e aumentem sua produtividade mesmo em ambientes inadequados para cultivo. O óxido nítrico vem se apresentando como um agente de combate ao estresse abiótico, porém, ainda é pouco utilizado devido à grande especificidade do seu uso. O presente estudo tem por objetivo principal analisar o comportamento do óxido nítrico como mitigador dos principais estresses abióticos, sendo eles: salinidade, escassez hídrica e contaminação por metais pesados.

Palavras-chave: Estresse, Atenuadores, Salinidade, Metais Pesados.

■ INTRODUÇÃO

Este capítulo trata-se de uma revisão de literatura sobre a atuação do óxido nítrico (NO) como atenuador de estresse em plantas. Especificando os estresses por contaminação com metais pesados, estresse por salinidade e estresse por deficiência hídrica.

Para realizar desse estudo foram feitas pesquisas nas bases de dados no google acadêmico utilizando preferencialmente artigos nacionais e internacionais dos últimos 10 anos. Esta obra contribuirá para todos os interessados nesta temática, desde profissionais, acadêmicos de universidades e pesquisadores sendo uma obra de fácil leitura, acessível e recomendada a todos que se interessam por esse assunto.

As plantas estão constantemente sendo expostas a perturbações do ambiente, que podem ser de natureza abiótica ou biótica que comprometem sua sobrevivência (HOSSAIN, 2018). Os estresses abióticos são os principais problemas ambientais que influenciam negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (DRESSELHAUS; HÜCKELHOVEN, 2018). O estresse oxidativo causado pela produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) é uma das respostas que as plantas apresentam frente a esses estresses ambientais. Quando as EROs são produzidas e acumuladas a planta sofre desequilíbrio redox, o que poderá proporcionar à morte celular (AREF, 2016).

Algumas substâncias atuam de maneira positiva na planta em diversos processos fisiológicos, na proteção contra fitopatógenos, na regulação estomática e na defesa em condições de estresses abióticos como é o caso do óxido nítrico (NO) (FRUNGILLO, 2014) produzido nas mitocôndrias, nos cloroplastos e nos peroxissomos, é uma molécula lipofílica e pequena, como o etileno, é capaz de mover-se facilmente entre as células (GALATRO, 2013).

Dependendo do nível de concentração o NO pode ser considerado prejudicial às plantas ou antioxidante. Devido às suas propriedades particulares, têm sido considerado uma molécula sinalizadora importante sob condições de estresses. A aplicação de NO exógeno pode mitigar a diminuição da capacidade fotossintética em plantas, causada por uma variedade de estresses abióticos (WANG, 2014). A grande capacidade do NO de interagir e modificar diferentes alvos dentro das células vegetais deve estar relacionada aos vários papéis desse radical livre, formado endogenamente em células vegetais (SALGADO, 2013; BHAT; AHMAD; CORPAS, 2021).

A sua aplicação exógena nas plantas ocorre por meio de mediadores como Nitroprussiato de sódio (NPS), S-nitrosoglutaciona (GSNO) e S-nitroso-N-acetil-penicilamina (SNAP) que promovem sua liberação. A S-nitrosoglutaciona (GSNO) é metabolizada pela GSNO redutase (GSNOR), responsável pelo controle dos níveis de NO e nitrosotiol em resposta a estímulos bióticos e abióticos. Recentemente, houve a proposta de que além das respostas ao

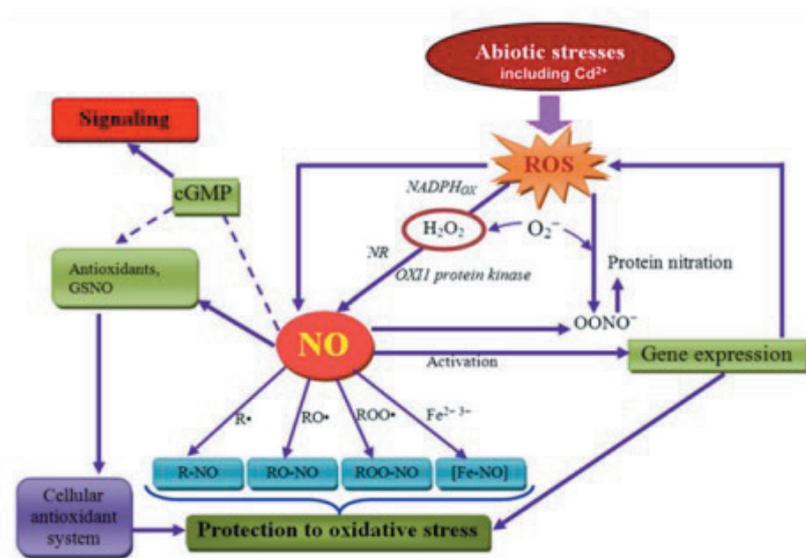
estresse, a GSNO atua na absorção e a assimilação de nitrato nas plantas, sendo uma espécie de NO bioativa importante (ZHAN, 2018; SATHEE, 2019).

Segundo Salgado (2017), por apresentar um elétron desemparelhado, pertence à família das espécies reativas de nitrogênio (RNS) podendo interagir com outras moléculas reativas como as espécies reativas de oxigênio- EROs, eliminando-as diretamente da célula.

A S-nitrosação, também conhecida como S-nitrosilação, consiste na ligação covalente de um grupo NO a cadeia lateral de tiol (-SH) de uma cisteína (Cys) é reconhecida como um dos mecanismos mais relevantes para a sinalização de NO podendo alterar a atividade, estabilidade e a conformação de proteínas alvo (SEVILLA, 2015).

Alguns estudos indicam que NO pode conferir à planta tolerância e proteção ao estresse oxidativo, causado por estresses abióticos aumentando a expressão de genes que codificam enzimas antioxidantes (Fig.1), como a superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX) e glutathione redutase (GR), atenuando desta forma os efeitos deletérios ocasionados por esses estresses (GILL, 2013; FANCY, 2016), o aumento na atividade dessas enzimas é considerado um indicativo de maior tolerância das plantas aos estresses (HERNÁNDEZ, 2017).

Fig. 1. Mecanismos do NO na proteção contra o estresse oxidativo em plantas.



Fonte: GILL, 2013.

Nesse viés, é notório que esta molécula apresenta características muito promissoras para o crescimento e desenvolvimento das plantas, assim como para a defesa destas contra agentes que possam interferir no seu pleno funcionamento fisiológico e bioquímico, como os estresses abióticos. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é aprofundar os conhecimentos acerca dos métodos de atuação do óxido nítrico na defesa das plantas em situações de estresse e identificar quais seus mecanismos para atenuar os efeitos causados por estresses por metais pesados, salino e déficit hídrico.

■ REVISÃO DE LITERATURA

Óxido nítrico como mitigador de estresse por metais pesados

Os rejeitos da exploração mineral podem causar aumento nos teores naturais de metais pesados no ambiente (CUNHA, 2017), resultando em um problema ambiental. A presença de metais pesados no solo é um fator comum, sendo alguns deles utilizados pelas plantas como nutrientes (cobre, zinco e cobalto) conforme sua disponibilidade. No entanto, a alta concentração desses elementos traços no solo interfere diretamente nos processos fisiológicos das plantas ocasionando toxicidade e danos oxidativos, além de representarem riscos para a alimentação humana e animal.

Estes metais estão disponíveis no ambiente por meio de fatores naturais ou por meio de ações antrópicas, na maioria dos casos, a contaminação ocorre através dos dejetos produzidos pelas indústrias e utilização incorreta ou excessiva de agroquímicos que contaminam os solos e cursos d' água próximos à área de produção (SILVA; VITTI; TREVIZAM, 2007; DIAS, 2018; GUARDA, 2021).

Algumas plantas se mostram tolerantes a uma concentração mais elevada de metais pesados o que provocou estudos para identificar os mecanismos utilizados por elas na diminuição de impactos ocasionados por esses materiais. A aplicação de NO exógeno sob a forma de nitroprussiato de sódio-NPS melhora a tolerância de plantas ao estresse causado por metais pesados (WANG, 2013).

Entre essas pesquisas, o óxido nítrico se mostrou um importante elemento atenuador dos efeitos provocados por esses elementos, alguns deles como o cádmio, arsênico, alumínio e cobre. Estes metais podem provocar nas plantas problemas como limitação de crescimento, danos nos ápices radiculares, diminuição dos pigmentos cloroplastídicos, diminuição na absorção de nutrientes, podendo provocar a morte do vegetal (SOUZA, 2012; DIAS, 2018; BRITO, 2021).

De modo que disponível em porções ideais o NO intervém nos estresses sofridos pelas plantas através de doadores que agem na neutralização dos processos resultantes das espécies reativas de oxigênio (EROs), condicionando ao NO, efeitos citoprotetores e redutores de toxicidade em respostas enzimáticas e não-enzimáticas. Dentro das plantas afetadas ele age como sinalizador diminuindo os efeitos dos estresses gerados por metais pesados (SILVA, 2007; FERNENSE, 2011).

De acordo com Silva (2018) verificou que a aplicação de NO exógeno reduziu a captação de arsênio, aumentando a produção de EROs e danos na membrana em *Spirodela intermedia* sob condições de estresse causado por arsênio.

Óxido nítrico como mitigador de estresse salino

A salinização dos solos afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas por ocasionar alterações na homeostase iônica e osmótica da célula (MUCHATE, 2016), podendo desencadear desordens nas vias metabólicas, gerando estresses secundários, como o estresse oxidativo (NXELE, 2017; YOUSUF, 2017). Segundo Marques (2014), a salinidade pode alterar de forma negativa os processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos dos vegetais ocasionando alterações no metabolismo vegetal promovendo assim redução na absorção de água e, conseqüentemente, o fechamento dos estômatos (CARILLO, 2019).

Os impactos causados por este tipo de estresse causam redução do potencial hídrico e a retenção de água celular, acúmulo de íons tóxicos interferindo na absorção de nutrientes provocando citotoxicidade e desestabilização da membrana celular dos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Segundo Ahmad (2018) relata que sob estresse salino a concentração de NO endógeno pode aumentar, atuando na sinalização ou proteção do tecido vegetal. Podendo atuar eliminando espécies reativas de oxigênio (EROs) pela sua interação através do seu elétron desemparelhado (CAMPOS, 2017) podendo agir juntamente com enzimas antioxidantes aumentando a sua atividade por S-nitrosilação (FANCY, 2016).

O papel do NO na homeostase iônica sob condições de salinidade é o aumento na relação K^+ / Na^+ em plantas expostas ao estresse salino, o que está relacionado com o aumento na atividade do antiporte Na^+ / H^+ e das H^+ -ATPases da membrana plasmática e vacúolo (KHAN, 2012).

Segundo Sami (2018), doses mais baixas de nitroprussiato de sódio-NPS promovem a fotossíntese, enquanto doses mais altas podem causar sua inibição. O NO medeia na resposta da auxina que conduz a formação de raízes adventícias que se mostraram eficazes em melhorar crescimento, biossíntese de pigmentos fotossintéticos e prolina em tomateiros sob condições de estresse (SIDDIQUI, 2017).

Óxido nítrico como mitigador de estresse por déficit hídrico

O déficit hídrico sofrido pelas plantas é um dos principais fatores que reduzem o seu crescimento resultando em perdas na produção de alimentos em todo o mundo (ROWLAND; SMITH; TAYLOR, 2018). Se a difusão de água da folha é mais alta que a taxa de absorção de água no solo a planta inteira pode entrar em estresse hídrico. Por isso, as plantas precisam regular a abertura dos estômatos para evitar a desidratação com o aumento do déficit de pressão de vapor (RODRIGUEZ-ZACCARO; GROOVER, 2019).

Algumas características fisiológicas das plantas são alteradas quando a planta se encontra em déficit hídrico, como a atividade fotossintética, o uso eficiente da água, o potencial hídrico foliar, propriedades estomáticas e a temperatura foliar (PEREIRA, 2017). Na atividade fotossintética verifica-se a redução do funcionamento estomático, o que afeta a assimilação do carbono atmosférico e sua consequente fixação pela enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (BARROS, 2018).

Sob baixa disponibilidade hídrica, se inicia um mecanismo localizado nas raízes de produção do ácido abscísico (ABA) que será exportado para as folhas durante a transpiração. Afetando diretamente as células-guardas por induzir o efluxo osmótico e, portanto, perda no turgor e redução da abertura estomática (TAIZ, 2017).

Um mecanismo que regula os níveis de NO nas células vegetais depende da S-nitrosilação da glutathione (GSH), dando origem à S-nitrosoglutathione (GSNO), que pode ser armazenada ou degradada, de acordo com a situação que se encontra a célula (ZUCCARELLI, 2017). A tolerância a seca relacionada ao NO esteja estreitamente ligada à sua capacidade de diminuir a abertura estomática e o estresse oxidativo (SANTISREE; BHATNAGAR-MATHUR; SHARMA, 2015), e por induzir a biossíntese de ácido abscísico-ABA (ZHANG, 2011).

Silveira (2016), comenta que a pulverização de solução de GSNO em plantas de cana sob déficit hídrico, melhora o crescimento das raízes, porém concentrações menores ou maiores que 100 μ M causaram efeitos protetores leves no desenvolvimento radicular. Conforme Farooq (2009), em plantas de arroz em condição de seca e tratadas com nitroprussiato de sódio-NPS a ação de sinalização do NO foi evidente principalmente com o aumento da expressão de antioxidantes, melhorando a estabilidade de membranas celulares, a fotossíntese e o estado hídrico da folha.

Na pesquisa desenvolvida por Silveira (2021), demonstrou que a eficiência quântica efetiva do fotossistema II foi aumentada pela pulverização de doadores de NO, como GSNO, em plantas de cana-de-açúcar sob déficit hídrico. Diversas pesquisas mostram que a manipulação dos níveis endógenos de NO, principalmente através de doadores exógenos têm demonstrado um imenso efeito na tolerância das plantas em vários estresses, inclusive no déficit hídrico. Mais estudos que abordem as várias vias de sinalização são necessários para que se tirem conclusões mais claras sobre esse assunto.

■ REFERÊNCIAS

1. BARROS, Julianny Mayra Teixeira de Moura. **Fungos micorrízicos em mudas de *Jatropha curcas* L. submetidas a estresse hídrico**. 2018. 30 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Mestrado em Produção Vegetal, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2018.
2. BHAT, Javaid Akhter; AHMAD, Parvaiz; CORPAS, Francisco J.. Main nitric oxide (NO) hallmarks to relieve arsenic stress in higher plants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 406, p. 124289, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124289>.
3. BRITO, Ana Ecídia de Araújo. **Óxido nítrico como atenuador da toxicidade de cobre na emergência, crescimento inicial, nutricional e parâmetros ecofisiológicos em milho**. 2021. 87 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Doutorado em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.
4. CAMPOS, Fernanda Vidal. **Óxido nítrico melhora o desempenho de plantas de *Lactuca sativa* L. expostas ao estresse salino**. 2017. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Fisiologia Vegetal, Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2017.
5. CARILLO, Petronia; RAIMONDI, Giampaolo; KYRIACOU, Marios C.; PANNICO, Antonio; EL-NAKHEL, Christophe; CIRILLO, Valerio; COLLA, Giuseppe; PASCALE, Stefania de; ROUPHAEL, Youssef. Morpho-physiological and homeostatic adaptive responses triggered by omeprazole enhance lettuce tolerance to salt stress. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 22-30, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.038>.
6. CUNHA, Cleyton Saialy Medeiros. **Metais pesados em solos, plantas e qualidade da água em área de mineração fósforo-uranífera**. 2017. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências do Solo, Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2017.
7. DA SILVA, Cristiane Jovelina; CANATTO, Regiane Aparecida; CARDOSO, Amanda Avila; RIBEIRO, Cleberson; OLIVEIRA, Juraci Alves de. Oxidative stress triggered by arsenic in a tropical macrophyte is alleviated by endogenous and exogenous nitric oxide. **Brazilian Journal of Botany**, v. 41, n. 1, p. 21-28, 16 dez. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-017-0431-y>.
8. DIAS, Elba Sharon. **Efeito fitotóxico do cádmio e ação do óxido nítrico no desenvolvimento inicial de *Bowdichia virgilioides* Kunth**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2018.
9. DIAS, Germana Bueno; RANGEL, Thaiz Batista Azevedo. Indução de resistência em plantas: O papel do óxido nítrico. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, Vitória, n. 3, p. 1-8, 2 set. 2007.
10. DRESSELHAUS, Thomas; RALPH Hückelhoven. Respostas ao estresse biótico e abiótico em plantas cultivadas. **Agronomy**, v 8, no.11: 267.2018. <https://doi.org/10.3390/agronomia8110267>.
11. FANCY, Nurun Nahar; BAHLMANN, Ann-Kathrin; LOAKE, Gary J. Nitric oxide function in plant abiotic stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 4, p. 462-472, mar. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/pce.12707>.

12. FARNESE, Fernanda dos Santos. **Sinalização celular: óxido nítrico na resposta de pistia stratiotes ao herbicida atrazina**. 2011. 70 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Controle da Maturação e Senescência em Órgãos Percíveis, Fisiologia Molecular de Plantas Superiores, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
13. FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; WAHID, A.; REHMAN, H.. Exogenously Applied Nitric Oxide Enhances the Drought Tolerance in Fine Grain Aromatic Rice (*Oryza sativa*L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 4, p. 254-261, ago. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037x.2009.00367.x>.
14. FRUNGILLO, Lucas; SKELLY, Michael J.; LOAKE, Gary J.; SPOEL, Steven H.; SALGADO, Ione. S-nitrosothiols regulate nitric oxide production and storage in plants through the nitrogen assimilation pathway. **Nature Communications**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 11 nov. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms6401>.
15. GALATRO, Andrea; PUNTARULO, Susana; GUIAMET, Juan J.; SIMONTACCHI, Marcela. Chloroplast functionality has a positive effect on nitric oxide level in soybean cotyledons. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 66, p. 26-33, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.01.019>.
16. GILL, Sarvajeet Singh; HASANUZZAMAN, Mirza; NAHAR, Kamrun; MACOVEI, Anca; TUTEJA, Narendra. Importance of nitric oxide in cadmium stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p. 254-261, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.12.001>.
17. GROB F, DURNER J, GAUPELS F. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. **Frontiers in Plant Science** 2013 Oct 29;4:419.doi: 10.3389/fpls.2013.00419.
18. GUARDA, Patricia Martins; RAMBO, Magale Karine Diel; JACONI, Angelica; GUARDA, Emerson Adriano; SILVA, José Expedito Cavalcante da. Concentrações de metais tóxicos em água, solo e sedimento do rio Formoso, TO. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. 1, 30 out. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21897>.
19. HERNÁNDEZ, J. A.; BARBA-ESPÍN, G.; CLEMENTE-MORENO, M. J.; DÍAZ-VIVANCOS, P.. Plant Responses to Salinity Through an Antioxidative Metabolism and Proteomic Point of View. **Stress Signaling in Plants: Genomics and Proteomics Perspective**, Volume 2, p. 173-200, 31 dez. 2016. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-42183-4_8.
20. HOSSAIN, Mohammad Anwar; LI, Zhong-Guang; HOQUE, Tahsina Sharmin; BURRITT, David J.; FUJITA, Masayuki; MUNNÉ-BOSCH, Sergi. Heat or cold priming-induced cross-tolerance to abiotic stresses in plants: key regulators and possible mechanisms. **Protoplasma**, v. 255, n. 1, p. 399-412, 4 ago. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00709-017-1150-8>.
21. KHAN MN, SIDDIQUI MH, MOHAMMAD F, NAEEM M. **Interactive role of nitric oxide and calcium chloride in enhancing tolerance to salt stress**. 2012 Dec 1;27(4):210-8. doi: 10.1016/j.niox.2012.07.005.

22. MARQUES, Elton Camelo. **Aclimação de plantas de milho à salinidade mediada pelo pré-tratamento com nitroprussiato de sódio**. 2013. 99f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
23. MUCHATE, Niramaya S.; NIKALJE, Ganesh C.; RAJURKAR, Nilima S.; SUPRASANNA, P.; NIKAM, Tukaram D. Plant Salt Stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. **The Botanical Review**, v. 82, n. 4, p. 371-406, 19 out. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12229-016-9173-y>.
24. NEIDIQUELE M. Silveira, Paula J.C. PRATAVIERA, Joana C. PIERETTI, Amedea B. SEABRA, Rafael L. ALMEIDA, Eduardo C. MACHADO, Rafael V. RIBEIRO, Chitosan-encapsulated nitric oxide donors enhance physiological recovery of sugarcane plants after water deficit, **Environmental and Experimental Botany**, Volume 190, 2021,104593, ISSN 0098-8472, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104593>.
25. NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIMBA, B.K.. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, v. 108, p. 261-266, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.11.003>.
26. PEREIRA, Samarina Gabrielle de Fátima. **Alterações em plantas de soja sob déficit hídrico no estágio reprodutivo**. 2017. 58 f. Tese (Doutorado) - Curso de Produção Vegetal, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2017.
27. RODRIGUEZ-ZACCARO, F. Daniela; GROOVER, Andrew. Wood and water: how trees modify wood development to cope with drought. **Plants, People, Planet**, v. 1, n. 4, p. 346-355, 5 mar. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ppp3.29>.
28. ROWLAND, Libby S.; SMITH, Hazel K.; TAYLOR, Gail. The potential to improve culinary herb crop quality with deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 242, p. 44-50, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.051>.
29. SALGADO, Ione; MARTÍNEZ, M. Carmen; OLIVEIRA, Halley Caixeta; FRUNGILLO, Lucas. Nitric oxide signaling and homeostasis in plants: a focus on nitrate reductase and s-nitrosoglutathione reductase in stress-related responses. **Brazilian Journal of Botany**, v. 36, n. 2, p. 89-98, jun. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40415-013-0013-6>.
30. SALGADO, Ione; OLIVEIRA, Halley Caixeta; GASPAR, Marília. Plant Nitric Oxide Signaling Under Environmental Stresses. **Mechanism of Plant Hormone Signaling Under Stress**, p. 345-370, 24 mar. 2017. John Wiley & Sons, Inc.. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118889022.ch14>.
31. SAMI, Fareen; FAIZAN, Mohammad; FARAZ, Ahmad; SIDDIQUI, Husna; YUSUF, Mohammad; HAYAT, Shamsul. Nitric oxide-mediated integrative alterations in plant metabolism to confer abiotic stress tolerance, NO crosstalk with phytohormones and NO-mediated post translational modifications in modulating diverse plant stress. **Nitric Oxide**, v. 73, p. 22-38, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.niox.2017.12.005>.

32. SANTISREE, Parankusam; BHATNAGAR-MATHUR, Pooja; SHARMA, Kiran. NO to drought-multifunctional role of nitric oxide in plant drought: do we have all the answers?. **Plant Science**, v. 239, p. 44-55, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.07.012>.
33. SANZ, Luis; ALBERTOS, Pablo; MATEOS, Isabel; SÁNCHEZ-VICENTE, Inmaculada; LECHÓN, Tamara; FERNÁNDEZ-MARCOS, María; LORENZO, Oscar. Nitric oxide (NO) and phytohormones crosstalk during early plant development. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 10, p. 2857-2868, maio 2015. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erv213>.
34. SARWAR, Nadeem; IMRAN, Muhammad; SHAHEEN, Muhammad Rashid; ISHAQUE, Wajid; KAMRAN, Muhammad Asif; MATLOOB, Amar; REHIM, Abdur; HUSSAIN, Saddam. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. **Chemosphere**, v. 171, p. 710-721, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>.
35. SATHEE, Lekshmy; MEENA, Hari Singh; ADAVI, Sandeep B.; JHA, Shailendra K.. Nitric Oxide-Induced Regulation of Plant Developmental Processes and Abiotic Stress Responses. **Plant Abiotic Stress Tolerance**, p. 381-408, 2019. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_16.
36. SEVILLA, F.; CAMEJO, D.; ORTIZ-ESPÍN, A.; CALDERÓN, A.; LÁZARO, J. J.; JIMÉNEZ, A.. The thioredoxin/peroxiredoxin/sulfiredoxin system: current overview on its redox function in plants and regulation by reactive oxygen and nitrogen species. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 10, p. 2945-2955, 6 abr. 2015. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erv146>.
37. SIDDIQUI, Manzer H.; ALAMRI, Saud A.; AL-KHAISHANY, Mutahhar Y.y.; AL-QUTAMI, Mohammed A.; ALI, Hayssam M.; KHAN, M Nasir. Sodium nitroprusside and indole acetic acid improve the tolerance of tomato plants to heat stress by protecting against DNA damage. **Journal of Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 177-186, 1 jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2017.1310941>.
38. SILVA, Keli Souza da. **Proteção do óxido nítrico sobre estresse oxidativo causado por herbicidas em arroz irrigado**. 2015. 86 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Doutorado em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
39. SILVA, Maria Ligia de Souza; VITTI, Godofredo Cesar; TREVIZAM, Anderson Ricardo. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.527-535, abr. 2007.
40. SILVA, Tatiana Kazue. **Ação citoprotetora do óxido nítrico na germinação de arroz (*Oryza sativa* L.) e soja (*Glycine max* (L.)Merril) submetidas a estresse de alumínio**. 2007. 53 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2007.
41. SILVEIRA, Neidiquele M.; PRATAVIERA, Paula J.C.; PIERETTI, Joana C.; SEABRA, Amedea B.; ALMEIDA, Rafael L.; MACHADO, Eduardo C.; RIBEIRO, Rafael V.. Chitosan-encapsulated nitric oxide donors enhance physiological recovery of sugarcane plants after water deficit. **Environmental and Experimental Botany**, v. 190, p. 104593, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104593>.

42. SILVEIRA, Neidiquele M.; FRUNGILLO, Lucas; MARCOS, Fernanda C. C.; PELEGRINO, Milena T.; MIRANDA, Marcela T.; SEABRA, Amedea B.; SALGADO, Ione; MACHADO, Eduardo C.; RIBEIRO, Rafael V.. Exogenous nitric oxide improves sugarcane growth and photosynthesis under water deficit. **Planta**, v. 244, n. 1, p. 181-190, 22 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00425-016-2501-y>.
43. TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5^a ed. Porto Alegre-RS, Artmed, 2013.
44. TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6^a ed. Porto Alegre-RS, Artmed, 2017.
45. VIEIRA, Lorena Alves de Jesus. **Sinalização celular: óxido nítrico na resposta de pistia stratiotes ao herbicida atrazina**. 2018. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Ciência e Tecnologia Goiano, Instituto Federal de Educação, Rio Verde, 2018.
46. WANG, Lihong; WANG, Wen; ZHOU, Qing; HUANG, Xiaohua. Combined effects of lanthanum (III) chloride and acid rain on photosynthetic parameters in rice. **Chemosphere**, v. 112, p. 355-361, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.069>.
47. WANG, Ping; SUN, Xun; CHANG, Cong; FENG, Fengjuan; LIANG, Dong; CHENG, Lailiang; MA, Fengwang. Delay in leaf senescence of *Malus hupehensis* by long-term melatonin application is associated with its regulation of metabolic status and protein degradation. **Journal of Pineal Research**, v. 55, n. 4, p. 424-434, 16 set. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jpi.12091>.
48. YOUSUF, Peerzada Yasir; AHMAD, Altaf; GANIE, Arshid Hussain; SAREER, Ovais; KRISHNAPRIYA, Vengavasi; AREF, Ibrahim M.; IQBAL, Muhammad. Antioxidant response and proteomic modulations in Indian mustard grown under salt stress. **Plant Growth Regulation**, v. 81, n. 1, p. 31-50, 3 jun. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-016-0182-y>.
49. ZHAN, Ni; WANG, Chun; CHEN, Lichao; YANG, Huanjie; FENG, Jian; GONG, Xinqi; REN, Bo; WU, Rong; MU, Jinye; LI, Yansha. S-Nitrosylation Targets GSNO Reductase for Selective Autophagy during Hypoxia Responses in Plants. **Molecular Cell**, v. 71, n. 1, p. 142-154, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molcel.2018.05.024>.
50. ZHANG, A.; ZHANG, J.; ZHANG, J.; YE, N.; ZHANG, H.; TAN, M.; JIANG, M. Nitric Oxide Mediates Brassinosteroid-Induced ABA Biosynthesis Involved in Oxidative Stress Tolerance in Maize Leaves. **Plant and Cell Physiology**, v. 52, n. 1, p. 181-192, 6 dez. 2010. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcq187>.
51. ZUCCARELLI, Rafael; COELHO, Aline C.P.; PERES, Lazaro E.P.; FRESCHI, Luciano. Shedding light on NO homeostasis: light as a key regulator of glutathione and nitric oxide metabolisms during seedling deetiolation. **Nitric Oxide**, v. 68, p. 77-90, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.niox.2017.01.006>.

Processamento do Eucalipto: uma análise da produção de madeira serrada e do óleo essencial

| Guilherme Fernando Ribeiro

Artigo original publicado em: 2011

V ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL.

Oferecimento de obra científica e/ou literária com autorização do(s) autor(es) conforme Art. 5, inc. I da Lei de Direitos Autorais - Lei 9610/98

RESUMO

O eucalipto possui rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e é aplicado em diferentes processos e com diversas finalidades. Esta pesquisa trata do processamento da madeira serrada e do óleo essencial de eucalipto, e foi realizada como uma exigência da Disciplina de Fatores de Produção Agropecuária, Curso de Engenharia de Produção Agroindustrial (EPA), Departamento de Engenharia de Produção, UEPR-FECILCAM. Os objetivos da pesquisa foram: apresentar o processamento do eucalipto para madeira serrada e para óleo essencial; apresentar o óleo essencial de eucalipto e a madeira serrada bem como suas classificações, as principais espécies destinadas para estes fins, a utilização dos resíduos desses processamentos e os mercados do óleo essencial e da madeira serrada. O método de abordagem utilizado foi o qualitativo. A pesquisa classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e, quanto aos meios, como bibliográfica e virtual. O trabalho apresentado pode ser utilizado para a elaboração de novas pesquisas. Sugere-se como pesquisas futuras, detalhar as demais formas de processamentos do eucalipto.

Palavras-chave: Madeira Serrada de Eucalipto, Óleo Essencial de Eucalipto, Processamento da Madeira, Processamento do Óleo Essencial.

■ INTRODUÇÃO

O eucalipto possui rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e é aplicado em diferentes processos e com diversas finalidades, como produção de celulose, papel, postes, energia, chapas, lâminas, compensados, aglomerados, carvão vegetal, madeira serrada e móveis, além de outros produtos como óleos essenciais e mel, alcançando grande importância econômica para o país (BERTOLA, 2002, apud ROSA, 2010 p.14).

Esta pesquisa trata do processamento de madeira serrada de eucalipto e do óleo essencial de eucalipto.

A crescente utilização da madeira serrada de eucalipto no Brasil demanda avaliações mais detalhadas sobre suas características e comportamentos frente aos processos industriais. O emprego de novos materiais genéticos de eucalipto para a produção de madeira serrada requer informações sobre o rendimento das toras submetidas a diferentes métodos de desdobro e sobre a qualidade da madeira produzida (FERREIRA, 2007).

A aceitação crescente da madeira serrada de eucalipto pelo mercado é resultante, em grande parte, não apenas pela maior disponibilidade, mas também pela crescente pressão social pela redução do uso de madeiras nativas. A esses fatores acrescenta-se a possibilidade de obter maior uniformidade na matéria-prima utilizada em processos industriais e também de poder contar com suprimentos regulares de matéria-prima para as linhas de produção industrial (FERREIRA, 2007).

Os óleos essenciais, são produtos florestais não-madeireiros que podem ser extraídos de raízes, tronco, casca, folhas, flores, sementes, frutos, e outros. No caso do eucalipto o uso do óleo medicinal é um dos produtos alternativos que vem despertando crescente interesse do mercado (REVISTA DA MADEIRA, 2009).

De acordo com Dr. Carlos Cleomir do INPA (2009) o interesse pelos óleos essenciais está baseado na possibilidade da obtenção de compostos aromáticos, os quais, de uma forma ou de outra, fazem parte do nosso dia a dia, seja em medicamentos, perfumes, ou produtos de limpeza. Muitos desses compostos são atualmente obtidos sinteticamente, por razões econômicas, por dificuldades na continuidade na obtenção das plantas produtoras, bem como pelo interesse na obtenção de novos componentes aromáticos. Contudo, a busca pelo naturalismo tem feito crescer a demanda pelos produtos originais obtidos diretamente das plantas. Além do mais, há dificuldades para que os aromas sintéticos aproximem-se da perfeição dos aromas naturais, além das dúvidas ainda existentes sobre os efeitos deletérios ao ser humano, questão esta que cresce fortemente em nível mundial.

De acordo com a Sociedade Brasileira de Silvicultura SBS (2005), dentre as várias matérias-primas usadas no Brasil para extração de óleo essencial, o eucalipto sempre ocupou um lugar de destaque e, historicamente, a atividade tem-se mostrado crescente.

Os objetivos da pesquisa foram:

- I. Descrever o processamento do eucalipto para madeira serrada e para óleo essencial;
- II. Apresentar o óleo essencial de eucalipto bem como sua classificação, as principais espécies destinadas para este fim, a utilização dos resíduos desse processamento e o mercado para o óleo essencial;
- III. Apresentar a madeira serrada de eucalipto bem como sua classificação, as principais espécies destinadas para este fim, a utilização dos resíduos desse processamento e o mercado para a madeira serrada.

■ METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa apresentada foi realizada como uma exigência da Disciplina de Fatores de Produção Agropecuária, do Curso de Engenharia de Produção Agroindustrial, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Estadual do Paraná Campus de Campo Mourão. A pesquisa foi realizada no período de 15 de Maio até 22 de Junho de 2011.

O método de abordagem utilizado para o desenvolvimento da pesquisa foi o qualitativo. A pesquisa classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e, quanto aos meios, como bibliográfica e virtual.

Como base de dados para a busca de artigos, teses e dissertações, utilizou-se os Portal Scielo e o *Site* de busca *Google*. Não se estabeleceu uma limitação temporal na revisão de literatura.

■ FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Óleo essencial de eucalipto

De acordo com Pereira (s/d) o óleo essencial de eucalipto é extraído das folhas e ramos das árvores de eucalipto pelo processo de destilação. Possui uma cor amarela e um cheiro característico e muito refrescante.

Os óleos essenciais são compostos por uma complexa mistura de componentes orgânicos, frequentemente envolvendo de 50 a 100 ou até mais componentes isolados (PEREIRA *et al.*,s/d).

De acordo com Guimarães (2000), a extração de uma essência natural é realizada por prensagem, maceração, extração com solventes voláteis, enfleurage ou por destilação por arraste a vapor. Este último método se mostra como o mais eficiente e de menor custo, sendo ainda o mais adequado para a extração de determinadas substâncias de uma planta.

O óleo essencial de eucalipto no Brasil

A aplicação dos óleos essenciais pelo homem vem de tempos Antes de Cristo. Civilizações japonesas, chinesas e egípcias usavam como incenso para mortos, embalsamamento e como matéria prima para perfumes. Nos tempos atuais, os óleos essenciais podem ser de origem artificial ou natural e possuem aplicação em diversas áreas, sendo constituinte primário ou secundário da indústria de perfumes, medicamentos, indústria química, como combustíveis, conservantes, inseticida, entre outros (CINIGLIO, 1993).

As essências podem ser de origem natural ou sintética. As de origem natural são geralmente extraídas de plantas, flores, raízes ou animais, enquanto as sintéticas tentam reproduzir no laboratório os aromas naturais (GUIMARÃES *et al*, 2000, p.45).

Segundo Braga (1971) a produção de óleo essencial no Brasil teve início em 1927. Foi durante a Segunda Guerra Mundial que teve início a extração dos óleos de menta, laranja, canela, eucalipto, capim-limão entre outros. Isso ocorreu devido a grande demanda imposta pelas indústria do ocidente, que se viram privadas de suas tradicionais fontes de suprimento, em virtude da desorganização do transporte e do comércio, ocasionada pela guerra. Pode-se assim destacar o início da produção de óleo essencial no Brasil como sendo uma consolidação para o atendimento do mercado externo.

No período de 1975 a 1984 a produção nacional de óleo de eucalipto era estimada em torno de 340 toneladas anuais, dos quais 60 toneladas eram de *E. globulus*, 80 toneladas de *E. staigeriana* e 200 toneladas de óleo de *E. citriodora* (MARKET STUDY, 1986 apud VITTI; BRITO, 2003, p.23).

Classificação dos óleos essenciais de eucalipto

Os óleos essenciais de eucalipto estão divididos, basicamente, em três grupos principais, em função do seu uso final. Eles são classificados em medicinais, industriais e perfumarias.

Os óleos medicinais são aqueles destinados à fabricação de produtos farmacêuticos (em inalantes, estimulantes de secreção nasal e produtos de higiene bucal), ou, simplesmente, para dar sabor e aroma aos medicamentos (VITTI; BRITO, 2003, p.3).

De acordo com Vitti e Brito (2003) o óleo essencial de eucalipto, para fins medicinais, é utilizado para suprimir tosses, aliviar sintomas de um resfriado, melhorar as funções

pulmonares, aliviando assim o congestionamento do peito, além disse a forte ação germicida pode ajudar a cicatrizar as feridas, queimaduras, úlceras e picadas de insetos.

Ainda segundo Vitti e Brito (2003) o óleo essencial de eucalipto pode ser encontrado como repelente de insetos. No cuidado da pele, aumenta a circulação sanguínea, sendo também formidável para manchas, furúnculos e espinhas. O óleo essencial de eucalipto, quanto a fins medicinais, são encontrados na forma de óleo, chá, extrato alcoólico, pó para cigarro.

Os óleos industriais são aqueles usado com solventes e matéria prima na produção de desinfetantes, desodorizantes e sabões. Atuam também em gomas, balas, doces e pastas de dentes. São mais utilizados nos produtos de limpeza, como sabões e desinfetantes. (VITTI; BRITO, 2003, p.3).

Nas indústrias de perfumaria, fazem parte da composição de perfumes. De acordo com Oliveira (2008) o perfume é uma mistura de óleos essenciais aromáticos, álcool e água, utilizado para proporcionar um agradável e duradouro aroma a diferentes objetos, principalmente, ao corpo humano.

Principais espécies de eucalipto para a produção de óleo essencial

A principal espécie de eucalipto para o óleo tipo medicinal no Brasil é segundo Vitti e Brito (2003) a espécie *Eucalyptus globulus*. Já para o óleo tipo industrial, a espécie predominante é a *E. staigeriana*. Para o óleo tipo perfumaria, a principal espécie é a *E. citriodora*.

Os solos ideais para o plantio do *E. globulus* devem possuir boa drenagem e bom abastecimento de água. Para essa espécie, devem ser evitados solos calcáreos, havendo preferência por solos com valores de pH entre 5 e 7. O *E. globulus* apresenta uma boa capacidade de brotação, podendo chegar a até 2 ciclos de produção vegetativa após a primeira exploração integral (DORAN, 1999 apud VITTI; BRITO, 2003, p.13).

Segundo Braga (1971) in Vitti e Brito (2003), o *E. globulus* foi a primeira espécie de eucalipto introduzida no Brasil. É explorado em pequena escala, uma vez que esta espécie está mais adaptada a climas mais frios e o óleo produzido no Brasil sofre grande concorrência com o óleo importado da China.

O *E. staigeriana* é caracterizada, como uma árvore de tamanho médio, podendo chegar a 22 metros de altura. Esta espécie está adaptada em zonas climáticas quentes e subúmida, sobre solos pobres e bem drenados (VITTI; BRITO, 2003, p.14).

Doran (1999) in Vitti e Brito (2003), coloca que a espécie *E. staigeriana* é uma espécie utilizada para fins industriais pois apresenta alto teor de citral, composto por uma mistura de dois aldeídos isoméricos: o geranial (citral A) e o neral (citral B), e que contribui para o odor característico sendo assim, utilizado em sabonetes, fragâncias de detergentes e outros.

O *E. citriodora* é uma árvore de porte médio, ocorre em vários tipos de solo, em florestas abertas juntamente com outras espécies, sendo facilmente diferenciada destas em função do forte cheiro de citronelal (álcool, insaturado acíclico, derivado do citronal por redução, com odor de rosas, e que é encontrado em vários óleos essenciais) de suas folhas (VITTI; BRITO, 2003, p.12).

De acordo com Vitti e Brito (2003), a espécie *E. citriodora* foi introduzida com o objetivo inicial de produção de madeira. Depois passou a ser utilizada muito como carvão vegetal, postes, mourões de cerca e hoje é o eucalipto mais cultivado no país para a produção de óleo essencial.

Processamento de produção de óleo essencial de eucalipto

São vários os fatores que têm sido citados por exercerem influência na obtenção de óleos essenciais de eucalipto. Os mais típicos são: a variabilidade genética, a idade das folhas, as condições ambientais, o tipo de manejo florestal, os métodos utilizados para amostragem das folhas, os processos de extração do óleo (VITTI; BRITO, 2003, p. 4).

O óleo de eucalipto é obtido pela simples destilação de suas folhas mediante o uso de vapor d'água. Por ser uma cultura ligada à extração de folhas, o manejo da área de plantio pode ser conduzido dentro do conceito de uso múltiplo da floresta.

De acordo com a Revista da Madeira (2009), a extração é feita no laboratório, as folhas são colocadas numa cuba com água e levadas para o destilador. Quando a água é aquecida inicia-se a produção de vapor. O vapor vai arrastar o óleo contido nas glândulas. Ele vai subir pelo equipamento, vai se condensar e vai ser recuperado num separador. Como o óleo é mais leve, ele vai se posicionar na parte superior. A água, sendo mais pesada, vai reciclar-se e retornar para ser novamente condensada.

Uma fábrica de óleo essencial de eucalipto é chamada de destilaria. Uma destilaria tem as chamadas dornas, nome que se dá aos recipientes onde são colocadas as folhas. A diferença do processo feito no laboratório é que as folhas não entram em contato com a água. Elas recebem o vapor produzido numa caldeira que fica na parte de baixo da planta (REVISTA DA MADEIRA, 2009).

Ainda de acordo com a Revista da Madeira (2009), cada recipiente leva cerca de 50 minutos para extrair o óleo. As dornas são sempre dispostas em duplas. Enquanto uma está em destilação a outra é aberta.

O que é feito com os resíduos desse processamento?

As folhas depois de destiladas fornecem energia para geração de vapor, podem ser utilizadas como adubo orgânico, como fonte de energia para a caldeira ou também como

bagaço depositado no campo e vai servir de adubo para as plantações de eucalipto (VITTI; BRITO, 2003, p.7).

Mercado para óleo essencial de eucalipto

Desde o ano de 2005 as exportações brasileiras de óleos essenciais estão aquecidas. O aquecimento do mercado está diretamente relacionado ao crescimento mundial do setor de aromas e fragrâncias, em média, na faixa de 5% a 6% ao ano (MELO, 2005).

Óleos de eucalipto, citriodora e cítricos em geral têm seus preços padronizados à nível mundial. Existe mercado, mas há a necessidade de serem produzidos em larga escala.

No ano de 2009 a produção brasileira de óleo essencial de eucalipto foi estimada em torno de 1.000 toneladas/ano, posicionando o Brasil de forma importante no mercado mundial, onde a China detém liderança, com produções anuais que chegam a 3.000 toneladas. A produção brasileira de óleo essencial de eucalipto está baseada em pequenas e médias empresas, utiliza-se da exploração de cerca de 10 mil hectares de florestas, gerando aproximadamente 10 mil empregos diretos e uma movimentação financeira de cerca de 4 milhões de dólares, com quase a metade devido às exportações (REVISTA DA MADEIRA, 2009).

Madeira serrada de eucalipto

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2010), a serraria é uma das principais indústrias florestais transformadora da madeira bruta para a obtenção de madeira maciça. Assim, todos os produtos resultantes do desdobro de toras tais como pranchas, tábuas, blocos, dormentes, vigas são denominados madeira serrada e constituem a base para a produção de produtos de maior valor agregado.

De acordo com a ABIMCI (2010), a madeira serrada de eucalipto possui maior valor agregado em relação a madeira sólida (tora), pelo fato da madeira serrada possuir maior mercado atendo diversas necessidades do mercado com a serragem de vigas, caibros, tábuas, balaustras e também aproveitando seus resíduos para obtenção de maior lucratividade.

A madeira serrada de Eucalipto no Brasil

O futuro da indústria de produtos serrados de madeira está no uso crescente das madeiras de florestas plantadas e, nesse caso, a antiga vantagem comparativa representada pelas florestas naturais se torna cada vez mais ineficaz, num mundo extremamente preocupado com as questões ambientais (SILVEIRA, 2010).

De acordo com Silveira (2010) o Brasil possui um potencial muito grande para elevar a sua competitividade em relação a outros países por ter uma variação percentual

da quantidade ofertada dada uma variação no preço do bem (oferta elástica) madeira de reflorestamento, principalmente pinus e eucalipto, levando-se em conta as excepcionais condições de clima e solo que permitem um crescimento muito mais rápido destas espécies do que nos países europeus.

Segundo a Revista da madeira (2009), a produção total de toras de eucalipto de plantios homogêneos para serraria e laminação está estimada em cerca de 3 milhões/m³/ano. Deste total, o Brasil é responsável por 37%, seguido pela Argentina, África do Sul, Austrália e Uruguai. Em 2015, a colheita total de toras (serraria e laminação) está estimada para 10 a 11 milhões/m³/ano, sendo que 1,5 milhões/m³/ano (13%) espera-se que seja toras de desbaste.

A produção de toras de eucaliptos para serraria e laminação no Brasil está estimada em 1,11 milhões/m³/ano.

Classificação das madeiras serradas de eucalipto

Acredita-se que um problema comum no mercado de madeira serrada seja a falta de padronização das peças e a não-observância às normas que regulamentam o setor. A Tabela 1 mostra as classificações da madeira serrada com suas dimensões de acordo com NBR 14807/2002.

Tabela 1. Dimensões da madeira serrada segundo a NBR 14807/2002.

Peças	Espaçamento (cm)	Largura (cm)
Pranchão	7,1 - 16,1	> 16,1
Prancha	3,9 - 7,0	> 16,1
Viga	4,0 - 8,0	8,1 - 16,0
Vigota	4,0 - 8,0	8,0 - 11,0
Caibro	4,0 - 8,0	5,0 - 8,0
Tábua	1,0 - 3,7	> 10,0
Sarrafo	2,1 - 3,9	2,0 - 9,9
Ripa	1,0 - 2,0	2,0 - 5,0

Fonte: ABNT 2002.

A NBR 14807/2002 foi a última norma que saiu para a venda da madeira serrada, e é a mais usada dentre as normas que existe para as dimensões da madeira para sua comercialização. Apesar de existir esta norma de dimensões para venda de madeira, ela é pouca utilizada pelas serrarias, pelo fato dos empresários não conhecerem estas normas. E isto prejudica o mercado de madeira por não haver uma padronização.

Principais espécies de eucalipto para a produção de madeira serrada

As principais espécies de eucaliptos para o uso nas indústrias serralheiras são as *E. citriodora*, *E. saligna* e *E. grandis*. Serão apresentadas as qualidades de cada uma dessas espécies e onde são mais aplicadas.

De acordo com a Agrotropical (2007) o Eucalipto citriodora (*E. citriodora*) também é conhecido como Cheiroso por causa do perfume de citrus que exala das folhas. Ocorre no Brasil principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Maranhão, Pernambuco, Paraíba. Apresenta ótima durabilidade natural e tratabilidade química.

Ainda segundo a Agrotropical (2007) o eucalipto citriodora é altamente resistente ao apodrecimento é excelente para serraria, no entanto, requer o uso de técnicas apropriadas de desdobro (corte feito nas toras para formação de pranchões, vigas e tábuas) para minimizar os efeitos das tensões de crescimento. Apresenta boas características de aplainamento, lixamento, furação e acabamento o que o torna ideal para a confecção de móveis. A madeira é muito utilizada para: construções, estruturas, caixotaria, postes, dormentes, mourões, lenha e carvão.

Segundo o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF, 2004) o *E. saligna* é uma árvore de tamanho alto a muito alto, atingindo 30 a 55 m de altura e mais de 2 m de diâmetro. Excepcionalmente pode atingir mais de 65 m de altura e 2,5 m de diâmetro. Com excelente forma do fuste (tronco). A copa alcança 1/2 a 1/3 da altura total da árvore. As características da madeira a tornam indicada para: laminação, móveis, estruturas, caixotaria, postes, escoras, mourões, celulose e carvão.

O *E. saligna* Apresenta susceptibilidade às geadas severas, tolera fogo baixo, e tem alta capacidade de regeneração por brotação das cepas. Em função do sucesso alcançado com a espécie no Estado de São Paulo, ela é recomendada para todas as regiões, com restrições a locais onde ocorram geadas ou deficiências (IPEF, 2004).

A retratibilidade exprime a intensidade de encolhimento da madeira durante a secagem, a perda de água das paredes das fibras, faz com que elas diminuam de secção, isto provoca contrações na madeira. Essas contrações, em princípio, variam com as espécies.

As espécies que apresentam baixa retratibilidade são em geral muito mais valorizadas, por exemplo, o mogno e a cerejeira. Nos eucaliptos há muita variação quanto às contrações mas, de modo geral são muito grandes. No entanto o *E. grandis*, apresenta baixa retratibilidade em comparação com as demais espécies de eucaliptos chegando a ter um desempenho igual ao mogno (PONCE, 2000).

O eucalipto *E. grandis* é o mais usado para construção de casas e móveis, portanto dentre as três espécies apresentadas neste artigo a *E. grandis* é a melhor opção para as madeiras e serrarias para obtenção maior de lucro e qualidade de seu produto.

Processamento de produção de madeira serrada de eucalipto

Há vários tipos de processamento de madeira serrada, dentre os eles o que será apresentado neste artigo é o mais utilizado na indústria madeireira.

Segundo Freitas (2007), a tora de eucalipto passa pela serra fita que é um sistema de corte de madeira mais usado atualmente. São serras que podem ser elétricas ou a diesel (motor estacionário ou a polias). É uma serra em forma de uma fita circular que gira em torno de dois eixos, cortando a tora em pranchas.

Transformadas em pranchas as peças vão para a serra circular ou alinhadeira. Nesta etapa do processo, as pranchas são desdobradas ou repicadas para retirar as partes danificadas e o brancal. Geralmente, nesta etapa do processo, se retira as laterais das pranchas. São cortadas, nesta fase, os caibros, vigas, tábuas, ripas, sarrafos, mata-juntas e outras (FREITAS, 2007).

Após o repique, as peças vão para a destopadeira, uma serra circular que corta as pontas das peças no esquadro (ângulos de 90°). São eliminadas, nesta fase, as pontas tortas, rachadas, ardidadas, podres e as que estão estragadas por qualquer motivo. Geralmente a peça é cortada no comprimento correto que se pede (FREITAS, 2007).

Acertadas, as peças beneficiadas de madeira são amontoadas em um local seco e plano, para evitar que o sol possa entortá-las. Geralmente são colocadas dentro de um barracão pois ainda possuem grande quantidade de água e podem entortar com a ação do calor solar. Assim, ficam a disposição dos clientes interessados (FREITAS, 2007).

O que é feito com os resíduos desse processamento?

De acordo com FEITOSA (2007), o aproveitamento de resíduos da industrialização da madeira pode contribuir para a racionalização dos recursos florestais, bem como para gerar uma nova alternativa econômica para as empresas, aumentando a geração de renda e de novos empregos. No segmento madeireiro, o aproveitamento de resíduos gerados pela extração e industrialização da madeira podem beneficiar desde indústrias de processamento primário até fábricas de móveis.

Segundo DANTAS (2005), no processamento da madeira serrada os resíduos que se formam são a lenha, e o pó de serra. A lenha é destinada a empresas que precisam de energia para as caldeiras, ou até mesmo para padarias que necessitam de combustível para seus fornos. O pó de serra tem vários destinos: para fazer compensados, adubação, na construção civil (melhora a acústica do ambiente) entre outros.

Mercado para madeira serrada de eucalipto

A indústria de madeira serrada tem características adequadas às condições econômicas e sociais do Brasil: necessita investimentos relativamente baixos, mão de obra com pouco treinamento, e pode alimentar a indústria moveleira com grande potencial exportador e absorvedor de mão de obra (PONCE, 2000).

De acordo com a ABRASFLOR (2011), o Brasil possui uma vasta extensão territorial, a qual pode ser aproveitada para a plantação de eucalipto. O mercado está crescente, o procura por madeira serrada nos últimos anos está cada vez maior, pelo fato da economia brasileira está crescendo. O governo está com vários programas com incentivos a construção de casas, e isso aquece o mercado madeireiro.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil possui uma clara e inegável vocação florestal, destacando-se a disponibilidade de terra e as excepcionais condições climáticas. O Brasil é um país reconhecido ainda pelo potencial tecnológico e estrutural dedicado ao reflorestamento com espécies de rápido crescimento, como, por exemplo, o eucalipto.

Tratando-se da produção de óleo essencial, essa permite a geração de receitas para o proprietário da terra, desde o primeiro ano da atividade florestal, antecipando receitas e fixando de forma mais perene e continua a mão-de-obra rural. Vale ressaltar para os interessados em produzir o óleo essencial de eucalipto que devem escolher uma região onde já existam plantações e destilarias. Isso vai facilitar a comercialização do produto.

A madeira serrada de eucalipto tem grande potencial no Brasil, e deve-se escolher a espécie de eucalipto que melhor se encaixa com a finalidade que terá seu produto, como por exemplo, na indústria de móveis a espécie de eucalipto que melhor se encaixa é a *E. grandis*.

Sugere-se como pesquisas futuras, detalhar as demais formas de processamentos do eucalipto verificando seus mercados futuros e então compreender o mercado mais promissor.

■ REFERÊNCIAS

1. ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente), 2010. *O Setor Madeireiro*. Disponível em:<http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_content&view=section&id=4&Itemid=6>. Acesso em: 17 de junho de 2011.
2. ABRASFLOR, 2011. *Estudo aponta que reflorestamento previsto por lei é pouco utilizado no Brasil*. Disponível em:< <http://www.abrasflor.org.br/news.html>>. Acesso em: 22 de junho de 2011.

3. AGROTROPICAL, 2007. *A Escolha do Eucalipto*. Disponível em:< <http://www.agrotropical.org/escolhadooecalipto.html>>. Acesso em: 14 de junho de 2011.
4. BRAGA, N. C. *Os óleos essenciais no Brasil: estudo econômico*. Rio de Janeiro, Instituto de Óleos, 1971, 158 p. CINIGLIO, G., In: *Eucaliptus para a produção de óleos essenciais*, ESALQ-USP, Piracicaba, 1993.
5. DANTAS, F. P. F., 2005. *Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra de madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural*. Disponível em: <<http://noticias.universia.com.br/ciencia- tecnologia/noticia/2005/02/11/490101/contribuio-ao-estudo-aplicao-do-po-serra-madeira-em-elementos- alvenaria-concreto-no-estrutural.html>>. Acesso em: 21 de junho de 2011.
6. FEITOSA, B. C., 2007. *Aproveitamento Econômico Dos Resíduos De Madeira Como Alternativa Para Minimização De Problemas Sócio-ambientais No Estado Do Pará*. Disponível em:< <http://www.webartigos.com/articles/1175/1/Aproveitamento-Economico-Dos-Residuos-De-Madeira-Como- Alternativa-Para-Minimizacao-De-Problemas-Socio-ambientais-No-Estado-Do-Para/pagina1.html>>. Acesso em: 22 de junho de 2011.
7. FERREIRA, S., 2007. *A crescente utilização de madeira serrada de eucalipto no Brasil*. Disponível em:< http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=92&id=805>. Acesso em: 15 de junho de 2011.
8. FREITAS, L. C., 2007. *Técnicas de corte ampliam produtividade*. Disponível em: < http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1104&subject=- Sistema%20de%20Corte&title=T%C3%A9cnicas%20de%20corte%20ampliam%20produtividade>. Acesso em: 22 de junho de 2011.
9. GUIMARÃES, P. I. C., OLIVEIRA, R. E. C., ABREU, R. G. de. *Extraíndo óleos essenciais de plantas*. Química Nova na Escola, nº 11, mai. 2000. 45-46 p.
10. INPA. *Curiosidades sobre os óleos essenciais*. Disponível em:<<http://portalamazonia-teste.tempsite.ws/sites/ervas/apresenta-impressao-noticia.php?idN=12926>>. Acesso em: 22 de junho de 2011.
11. IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. *Identificação de Espécies Florestais - Eucalyptus saligna Sm*. Disponível em:< <http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/saligna.asp>>. Acesso em: 11 de junho de 2011.
12. MELO, B. *País lucra com óleos essenciais*. Disponível em:<<http://www.bv.fapesp.br/namidia/noticia/5178/pais-lucra-oleos-essenciais/>>. Acesso em: 22 de junho de 2011.
13. OLIVEIRA, L. *Perfumes a arte de sentir bem*. Disponível em:<<http://www.cosmeticoscia.com.br/artigo4.html>>. Acesso em: 22 de junho de 2011.
14. PEREIRA, M. A. A., GUERINI, C., SHOLL, W. *Comparativo do rendimento da extração de óleo essencial obtido de folhas de eucaliptus grandis destinada a produção de laminas de madeira com a espécie eucaliptus citriodora destinados a produção de óleo essencial*. Universidade Católica do Rio Grande do Sul. s.d. 16 p.
15. PONCE, R. H. 2000. *Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas*. Disponível em:< http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/cap06.pdf>. Acesso em: 13 de junho 2011.

16. REVISTA DA MADEIRA. *Óleo de eucalipto se destaca entre os não-madeireiros*. Ed. nº 119, Agosto de 2009. Disponível em:<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1380&subject=Eucalipto&title=%D3leo%20de%20eucalipto%20se%20destaca%20entre%20os%20n%E3o-madeireiros>. Acesso em: 13 de junho de 2011.
17. ROSA, J. A. *Silício na resistência ao oídio em jardim clonal e na transpiração de mudas de eucalipto*. Dissertação (Mestre em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, São Paulo, 2010. 74 p.
18. SBS. *Sociedade Brasileira de Silvicultura* in: Fatos e Números do Brasil Florestal. Disponível em:<<http://portalamazonia-teste.tempsite.ws/sites/ervas/apresenta-impressao-noticia.php?idN=12926>>. Acesso em: 22 de junho de 2011.
19. SILVEIRA, L. A. P., 2010. *Análise da viabilidade econômica de três serrarias no município de Pelotas*. Disponível em:< <http://wp.ufpel.edu.br/cceim/files/2010/11/TCC-Leonardo-Peixoto.pdf>>. Acesso em: 19 de junho de 2011.
20. VITTI, A. M. F., BRITO, J. O. *Óleo essencial de eucalipto*. São Paulo, Universidade de São Paulo, Documentos Florestais, nº 17, 2003. 3 - 30 p.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco

Pós-doutora em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (UNIVASF). Doutora em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT/UNIVASF). Doutora em Educação (UCSF - Argentina). Mestre em Ciências da Educação (UI - Lisboa/Portugal). Mestre em Tecnologia Ambiental pelo Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP). Especialista em Auditoria e Perícia Ambiental (Universidade Estácio Sá/SP). Licenciada em Geografia (UPE). Bacharelanda em Geografia (UNESA). Docente efetiva do Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE) no Colegiado de Tecnologia de Alimentos. Docente permanente do Programa de Pós-Graduação (Mestrado e Doutorado) em Ecologia Humana e Gestão Socioambiental (PPGEcoH). Docente permanente do Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido (PPGDiDeS/UNIVASF). Membro de la Rede Iberoamericana del Medio Ambiente (REIMA/AC). Membro da Associação Brasileira de Agroecologia (ABA) atuando no GT - Manejo de Agroecossistemas. Membro-pesquisador do Núcleo de Agroecologia e Produção Orgânica- Ensaio para a Vida (Univasf). Líder do Grupo de Pesquisas Interdisciplinar em Meio Ambiente (GRIMA/CNPq) e Núcleo de Pesquisa Geoambiental (NuPGEO/CNPq). Membro do Corpo Editorial da Editora Científica Digital; Membro do Corpo Editorial da Brazilian Journal of Animal and Environment Research (BJAER), da South Florida Journal of Environmental and Animal Science e da Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA). Membro do Conselho Editorial Científico da Revista de Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE. Revisora de periódicos científicos, entre eles: GEOUSP: espaço e tempo; OPARÁ: Etnicidade, Movimentos Sociais e Educação. Revista Iberoamericana Ambiente & Sociedad. Revista Científica Diversidad Biologica y su Gestión Integrada. Diversitas Journal; Journal of Education, Society and Behavioural Science. Colaboradora da Rede MapsBioma Árida. Palestrante nacional e internacional. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase na Geografia Física, atuando, principalmente, nos seguintes temas: Paleoecologia, Paleoecossistemas, Paleoagroecossistemas, Agroecologia, Etnoecologia, Território e Desenvolvimento Sustentável.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6358715394273386>

Guilherme Fernando Ribeiro

Guilherme Fernando Ribeiro é doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa, onde atua na Linha de Pesquisa de Gestão do Conhecimento e Inovação e no Grupo de Pesquisa de Desenvolvimento de Produtos e Processos de Manufatura, com área de concentração em Gestão Industrial. Possui graduação em Matemática (2012) e Engenharia de Produção Agroindustrial (2015) pela Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Câmpus Campo Mourão (FECILCAM). É mestre em Engenharia de Produção (2016) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3122241592407637>

Marcos Vinicius Winckler Caldeira

Graduação em Engenharia Florestal pela UFSM. Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Silvicultura pela UFSM. Doutorado em Engenharia Florestal, área de concentração Conservação da Natureza pela UFPR. Atualmente é professor Associado IV do Departamento

de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito do Santo, campus Sul Capixaba. No DCFM/CCA/E/Ufes atua na área de Silvicultura, nas seguintes linhas de pesquisa: a) Biomassa e carbono de florestas e plantações comerciais; b) Ciclagem de nutrientes em florestas nativas e plantações; c) Nutrição de florestas nativas e plantações comerciais; d) Produção e qualidade de mudas florestais; e) Silvicultura, manejo e ecologia de florestas de produção. Possui artigos publicados em revistas nacionais e internacionais, capítulos de livros e livro, sendo a maioria relacionado a Silvicultura e Ciclagem de Nutrientes. É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq 2. É integrante do Plano Estadual de Silvicultura de Espécies Nativas (PESEN) que tem como objetivo criar condições favoráveis à utilização de espécies florestais nativas e sistemas agroflorestais para produção comercial, proporcionando aumento de disponibilidade de produtos madeireiros e não madeireiros no Estado. Atualmente é líder do grupo de pesquisa Núcleo de Pesquisa Científica e Tecnológica em Meio Ambiente, Silvicultura e Ecologia (Nupemase). O principal objetivo do Nupemase é realizar e difundir pesquisas sobre as florestas brasileiras, sejam elas nativas e/ou plantadas. Neste núcleo, uma qualificada equipe de pesquisadores (discentes, docentes e colaboradores) desenvolve diversos estudos com foco no meio ambiente, silvicultura, ecologia, restauração florestal e diversidade genética.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3624066484009682>

Wiaslan Figueiredo Martins

Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal Goiano (IF Goiano). Coordenador de Educação Profissional Técnica de Nível Médio. Engenheiro de Alimentos pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2013), Mestre em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2015). Doutor em Engenharia de Alimentos pela UFSC, na área de concentração em Processos Biotecnológicos e Cinética Microbiana Aplicada, com período sanduíche na Universidad de Burgos - UBU, Espanha. Atua na área de Microbiologia, com ênfase em Microbiologia Preditiva Aplicada à Alimentos (modelagem matemática; softwares; estudo da vida útil de produtos cárneos; aplicação de radiação ultravioleta UV-C em alimentos (frutas e hortaliças)) e Biologia Molecular de Microrganismos (DNA de bactérias ácido-lácticas deteriorantes da carne e produtos cárneos; PCR quantitativa - qPCR).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8726955804617572>

Erival Gonçalves Prata

Possui Graduação em Ciências Naturais pela Universidade Federal do Pará (2014), Especialização em Metodologia do Ensino de Biologia e Química pela Faculdade Integrada de Goiás FIG - Polo Breves (2017), Mestrado em Zoologia pelo Programa de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi (2020). Doutorado em andamento pelo Programa de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi. Membro do Conselho Editorial da Editora Científica. Revisor do periódico Journal of Education of Science and Health. Atua no estudo de Ecologia de Ecossistemas de Água Doce e Ensino de Ciências.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0609477803818104>

Carlos Roberto de Lima

Possui graduação em ENGENHARIA FLORESTAL pela Universidade Federal de Viçosa (1984), mestrado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1989) e doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (2011). Foi professor adjunto da Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR, em Patos - PB). Tem experiência na

área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Planejamento de Sistemas Energéticos, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento energético regional, propriedades físicas, energia de biomassa, produtos florestais e qualidade de madeiras. Entre as atividades mais relevantes que participou ativamente estão: a) Projeto do Diagnóstico do Setor Florestal da Paraíba e Elaboração do Programa de Desenvolvimento Florestal do Estado da Paraíba (Gov. Estadual/IBAMA/UFPB, 1991 - 1994); b) Projeto e Implantação do Centro de Produção Mais Limpa - CEPIS (Gov. da Suíça/SEBRAE PB/UFCG, datas?); c) Projeto e Implantação do CBH PPA (UFPB - UFCG/ANA/AESA/IGARN, 1999 - 2007), tendo participado da sua Primeira Legislatura como representante institucional da UFCG; d) Projeto Florestas Energéticas (EMBRAPA/UFCG/OUTROS, 2006 - 2015). Professor Adjunto Doutor “APOSENTADO” pela UAEF/CSTR/UFCG, Patos - PB, em 07/08/2017. Inicia, em 09/2017, atividades como consultor nas interfaces: Florestal/Meio Ambiente/Energias. Iniciando, em 2019/2020, atividades como Perito Ambiental, nas esferas: Judicial e Extra - Judicial, cadastramento em processo para a Justiça Federal e para as Justiças Estaduais (CE; RN; PB e PE).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9868721105296158>

Julianno Pizzano Ayoub

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Engenheiro de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário Campo Real. Especialista em Engenharia da Qualidade. Especialista em Engenharia de Produção. Especialista em Engenharia de Suprimentos. Especialista em Engenharia Geotécnica. Especialista em Meio Ambiente, Desenvolvimento e Sustentabilidade. Especialista em Gestão Ambiental. Especialista em Direito Ambiental. Especialista em Educação Ambiental. Especialista em Docência no Ensino Superior. Mestre em Bioenergia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Tem experiência com gestão de pessoas, redução de custos, adequações às NRs, certificações, auditorias, perícias e treinamentos.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3534582408466846>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção: 48, 54, 59, 60

Análise Química: 76, 81, 84, 91, 106

Atenuadores: 116

B

Beterraba: 48, 49

Biochar: 64, 73, 74

Biomassa Compactada: 98, 103

C

Carvão Ativado: 49

Corantes: 59, 60

E

Estresse: 116

F

Fibras Naturais: 76

M

Madeira Serrada de Eucalipto: 128, 134, 139

Mercado de Biomassa: 98

Metais Pesados: 116, 122

O

Óleo Essencial de Eucalipto: 128, 130, 140

P

Pellets: 98, 108, 111, 112

Processamento da Madeira: 128

Processamento do Óleo Essencial: 128

R

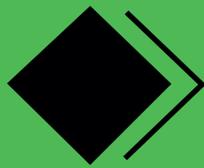
Recursos Renováveis: 23

Resíduos Agrícolas: 62

S

Salinidade: 116

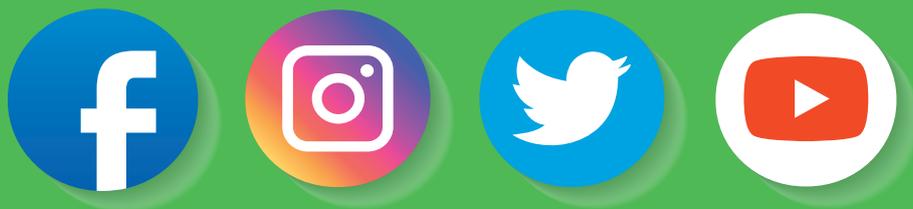
SARS-CoV-2: 34, 38, 42, 43, 44, 46



editora
científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS



www.editoracientifica.org | contato@editoracientifica.org